

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Zürich
Konservierende Abteilung: Prof. Dr. med. W. Heß

Die Dentinanästhesie mit dem Nondolor- und Dentatron-Verfahren im Lichte klinischer und histologischer Untersuchungen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

HARRY VON ARX

von Härkingen (Solothurn) und Glarus

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. W. Heß

ZÜRICH 1954 – BUCHDRUCKEREI BERICHTHAUS

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Zürich
Konservierende Abteilung: Prof. Dr. med. W. Heß

Die Dentineanästhesie mit dem Nondolor- und Dentatron-Verfahren im Lichte klinischer und histologischer Untersuchungen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

HARRY VON ARX

von Härkingen (Solethurn) und Glarus

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. W. Heß

ZÜRICH 1954 - BUCHDRUCKEREI BERICHTHAUS



Separatabdruck aus der «Schweizerischen Monatsschrift für Zahnheilkunde»
Band 64, 1954, Hefte 5/6

Meinen lieben Eltern



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Zürich
Konservierende Abteilung: Prof. Dr. med. W. Heß

Die Dentinanästhesie mit dem Nondolor- und Dentatron-Verfahren im Lichte klinischer und histologischer Untersuchungen

Von *Harry von Arx*

I. Einleitung

Als vornehmstes Ziel ärztlichen Handelns gilt seit je das Bestreben, bestehende Schmerzen zu lindern oder zu beseitigen und die Entstehung neuer Beschwerden nach Möglichkeit zu bekämpfen. Bereits 456 v. Chr. hat *Hippokrates* diesen Grundsatz vertreten, indem er sagte: *Divinum est sedare dolorem*. Und heute besitzt er eine noch wesentlich höhere Bedeutung, wenn man an die sehr zahlreichen nervösen, hypersensiblen und psychisch labilen Patienten denkt, für die jeder noch so geringfügige ärztliche oder zahnärztliche Eingriff mit oft unerträglichen Schmerzen verbunden ist. Daher soll die Behandlung für den Patienten erleichtert und gleichzeitig sollen die Nerven des Behandlers möglichst geschont werden.

Hatte man anfänglich vorwiegend recht brutale Methoden zur Schmerzverminderung angewandt (z. B. Übertönung eines Schmerzes durch einen noch größeren!), so gelangte man erst im Laufe der Jahrhunderte zur Anwendung humanerer Mittel. Befriedigende Resultate wurden jedoch erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts erzielt, und zwar auf sehr verschiedene Weise.

Bei der Entwicklung der Anästhesie im allgemeinen und der zahnärztlichen Anästhesierung des lebenden Dentins im besonderen können wir rückblickend folgende Arten der Schmerzausschaltung grundsätzlich unterscheiden:

- A. Verwendung zentral wirkender Mittel,
- B. Anwendung von Methoden zur Unterbrechung der Reizleitung aus der Peripherie zum Zentralnervensystem, und
- C. Applikation rein peripher-lokal wirksamer Methoden.

Ohne auf die zentral wirkenden Mittel eintreten zu wollen, möchte ich im Rahmen dieser Arbeit die verschiedenen zahnärztlichen Methoden zur Unterbrechung der zentripetalen Reizleitung und zur Blockierung der peripheren Schmerzrezeptoren im Zahn kurz besprechen und auf zwei der neuesten Apparate zur Dentindesensibilisierung besonders eingehen.

Die Frage nach den Schmerzrezeptoren und dem reizleitenden Substrat im Dentin bildet seit vielen Jahren das Thema lebhafter Diskussionen. Dabei stehen sich jeweils zwei grundsätzliche Anschauungen gegenüber:

Die eine Gruppe von Autoren vertritt die Ansicht, daß besonders ausgebildete Endorgane (Endschlingen, Endkolben, Endspiralen, Endringe, freie Nervenendigungen) für die Schmerzperzeption und marklose, eventuell sogar markhaltige (*Allen*³) Nervenfasern für die Schmerzleitung im Dentin verantwortlich seien.

Die Vertreter der anderen Theorie sehen den Sitz der Reizausslösung und -leitung im Inhalt der Dentinkanälchen, den Odontoblastenfortsätzen und den Odontoblastenzellen.

A. Der erste Standpunkt wird vor allem von *Dependorf*¹⁵, *Fritsch*, *Mummery*⁶⁸, *Dieck*, *Tojoda*^{104, 105}, *Berkelbach van der Sprenkel*, *Allen*³, *Adrian*, *Sealey*, *Münch*⁷⁰, *Illyès*³⁹, *Wassermann*¹¹⁴, *Morgestern*⁶⁷, *Römer*, *Zerosi*¹¹⁸, *Boll*, *Montfort*⁶⁶, *Held* und *Baud*, *Riegele* und anderen vertreten.

Boll veröffentlichte 1868 erstmals seine Ansicht, wonach das Dentin innerviert sei. *Mummery*⁶⁸ stellte auf Grund seiner Untersuchungen an Zähnen nach metallischer Imprägnation die Hypothese auf, das Dentin enthalte Nervenfasern. Er gibt an, er habe den kontinuierlichen Verlauf sehr zahlreicher Nervenfasern von der Pulpa durch die Dentinkanälchen bis zur Schmelz-Dentin-Grenze ver-

folgen können. *Tojoda*^{104, 105} glaubt, in seinen Präparaten, die nach der Methode von *Bielschowsky* gefärbt wurden, zwei Arten von Nervenfasern gefunden zu haben: intratubuläre marklose in den Dentinkanälchen und intertubuläre in der Grundsubstanz, die bisweilen in ovalen Verdickungen oder besonderen Nervenendkolben in der Mitte oder im zweiten Drittel des Dentins enden. Seine Ergebnisse werden durch die Resultate *van der Sprenkels*, der intratubuläre Nervenfasern fand, teilweise gestützt. *Allen*³ beschreibt nicht nur dicke, intratubuläre Fasern, die in kolbigen Organen enden, sondern er bezeichnet sie sogar als markhaltig! Diese letzte Behauptung erscheint nicht besonders wahrscheinlich, nachdem man erkannt hat, daß die Fasern des *Raschkowschen* Plexus marklos sind. Offenbar wurden hier, wie bei verschiedenen anderen Autoren, die Odontoblastenfortsätze für Nervenfasern gehalten, oder es handelte sich um Artefakte. Die Existenz der von *Carol Montfort*⁶⁶ gefundenen intratubulären Dentinnerven ist in Frage gestellt, da sie sich meist als Fibroblasten entpuppten. *Illyès*³⁹ führt aus, daß bei Färbung nach *Bielschowsky*, *Cajal-de Castro* oder *Bodian-Holmes* im Dentin fast in jedem Fall Nervenfasern nachgewiesen worden seien, während *Wassermann*¹¹⁴ nur einzelne, über eine kurze Strecke in den Dentinkanälchen verlaufende Nervenfasern gefunden hat und die Ansicht *van der Sprenkels*, nach der die Nervenfasern bis in den Schmelz vordringen, für ungerechtfertigt hält. Nach *Römer*, *Dependorf*¹⁵ und *Münch*⁷⁰ reichen die Nervenfasern aus der Pulpa bis ins Dentin, nach *Fritsch*, *Sealey*, *Tiegs*, *Lewinsky* und *Stewart*⁶² nur bis ins Prädentin oder bis zur Prädentin-Dentin-Grenze. *Zerosi*¹¹⁸ gibt ebenfalls an, zahlreiche Nervenfasern bei ihrem Eintritt ins Dentin beobachtet zu haben, wo sie birnförmige Endorgane bilden, und *Morgenstern*⁶⁷ glaubte 1891 den Nachweis des Vorkommens von Nervenfasern an der Schmelz-Dentin-Grenze erbracht zu haben. Die kontinuierliche Verfolgung der Fasern von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Pulpa gelang ihm jedoch nicht.

Neuerdings haben *C. A. Baud* und *A.-J. Held* nach Fixierung der Objekte durch die Substitutionstechnik, der Imprägnierung mit Silber nach der Methode von *Weber* und Untersuchung im polarisierten Licht die sensitiven und vegetativen Fasern in der Pulpa, im Dentin und im Parodont festgestellt. Die Nervenendigungen waren in Form von metaterminalen Strukturen auf den Odontoblasten,

in den Dentinkanälchen und im Parodont auf den kollagenen Fasern und den Kernmembranen der Fibroblasten zu finden.

B. Im Gegensatz zu diesen Autoren lehnen *Walkhoff*, *Gysi*, *Black*, *Kölliker*, *Hopewell-Smith*³⁷, *von Ebner*, *Ambrose*⁴, *Stewart*¹⁰⁰, *Kérébel*⁴³, *Friedrich*²⁸, *Yamada*¹¹⁷, *Tomes*, *Manley* und *Hardwick*⁶⁵, *Chase*¹³ und andere die Existenz von Nervenfasern und besonderen Endorganen im Dentin ab und halten die oben beschriebenen Gebilde für gefärbte Fasern anderer Art oder für Artefakte. Sie betrachten den Inhalt der Dentinkanälchen in Zusammenarbeit mit den Odontoblastenzellen und dem *Raschkowschen* Plexus als das für die Reizleitung im Dentin verantwortliche Substrat. *Hopewell-Smith*³⁷, der das Vorkommen von Nervenfasern im Dentin ablehnt, hält die von *Mummery*⁶⁸ als Nerven bezeichneten Strukturen für bindegewebige Fasern. Er – wie auch *Ambrose*⁴ und *Schäfer* – konnte keine Nervenfasern ins Dentin eintreten sehen und weist auf die Möglichkeit einer Verwechslung mit *Von-Korffschen* Fasern oder Odontoblastenfortsätzen hin. *Stewart*¹⁰⁰ hält die Arbeit *Tojodas* für unvollständig, da dieser die Kontinuität von Nervenfasern aus dem Dentin zur Pulpa nicht nachgewiesen und damit den Beweis für seine Feststellung noch nicht erbracht hat. Er selbst konnte keine Dentinnerven finden. Solche kommen seines Erachtens lediglich im Prädentin vor. *Tomes*, der als Erster die Odontoblastenfortsätze als solche erkannt hat, hält sie nie für Nerven, macht sie aber doch verantwortlich für die Leitung nervöser Impulse vom Dentin zur Pulpa. Diese Theorie krankt jedoch an der Tatsache, daß die Odontoblasten mesodermalen Ursprungs sind, also für die Reizleitung nicht in Betracht kommen. Sie wird in ähnlicher Weise von namhaften Autoren wie *Hopewell-Smith*³⁷, *Huber*, *Retzius*, *Walkhoff*, *Gysi* und anderen vertreten.

Magitôt und *Legros* teilten als erste ihre Beobachtung mit, daß die Pulpennerven in der Odontoblastenschicht enden, was neuerdings auch von *Tiegs*, *Calderon* und *Brashear*¹¹, sowie von *Noyes*, *Bodecker*⁹, *Hanazawa* und *Terasaka* angenommen wird. *Yamada*, *Marushi*, *Sugaya*, *Hara* und *Masuda*¹¹⁷ kommen ebenfalls zum Schluß, daß die Nervenfasern der Pulpa in der Odontoblastenzone und eventuell in den Prädentinkanälchen enden und nicht in das Dentin eindringen. Sie machen für *Mummerys* Resultate Unzulänglichkeiten in der Technik verantwortlich, halten aber ander-

seits auch die Hypothese von *Hopewell-Smith*, nach der die Odontoblasten sensorische Endorgane darstellen, noch nicht für eine exakte Erklärung. Nach *Friedrich*²⁸ haben Nachprüfungen der Untersuchungen *Tojodas* über die Innervation des Dentins ergeben, daß im Zahnbein weder Nervenfasern noch irgendwelche Endorgane vorkommen. Auch das zusammenhängende Nervenetz in der Grundsubstanz wird bezweifelt.

Aus dieser kurzen Übersicht über die Resultate und Auffassungen verschiedener Autoren der beiden Gruppen, die sich hinsichtlich der Dentinnervierung gegenüberstehen, geht deutlich hervor, daß diese Frage zur Zeit noch nicht eindeutig geklärt ist, und was *Tomes* 1930 festgestellt hat, besitzt heute noch Gültigkeit:

«In view of the many diverse and often conflicting statements made by competent observers, the question as to the precise mode by which the dentine is innervated must be regarded as still sub judice.»

II. Historisch-literarischer Teil

Wie bereits eingangs erwähnt, kann auf zahnärztlichem Gebiet die Schmerzhaftigkeit eines Eingriffes auf ganz verschiedene Weise ausgeschaltet oder wenigstens vermindert werden.

Über die Leitungsunterbrechung mittels *Injektion* eines Anästhetikums ist in der Literatur schon sehr ausführlich berichtet worden, und nach den bisher gemachten Erfahrungen ist es unwahrscheinlich, daß sie durch eine andere, bei gleichen Erfolgen mit weniger Nachteilen behaftete Methode verdrängt werden wird. Die Injektionsanästhesie ist in sehr vielen Fällen das Mittel der Wahl geblieben.

Wenn es sich aber darum handelt, die bei konservierender Arbeit (Exkavieren, Bohren, Schleifen) auftretenden Schmerzen zu vermeiden oder auf das Minimum zu reduzieren, soll stets zuerst das einfachste Mittel in Anwendung gebracht werden. Dieses besteht unzweifelhaft im Gebrauch *scharfer Instrumente* (Exkavatoren, Bohrer, Diamant- und Karborundumschleifkörper). Die Kavitäten sollen soweit als möglich mit scharfen Handinstrumenten bearbeitet und erst wo dies nicht mehr möglich ist, mit scharfen, am besten neuen Bohrern oder mit Diamantschleifkörpern angegangen werden. Ist die Verwendung der Bohrmaschine unumgänglich, so soll unter geringem Druck bei mittlerer Tourenzahl intermittierend gebohrt

werden (kommaförmiges Bohren nach *Walkhoff*), denn dadurch läßt sich bereits ein erheblicher Teil der normalerweise auftretenden Schmerzen vermeiden. Diese Arbeitsweise bringt eine Senkung der Reizgröße bis auf oder sogar unter den Schwellenwert mit sich, wodurch der Reiz gut verträglich oder sogar unwirksam wird und keine schmerzhaften Sensationen hervorruft. Überschwellige Reize lösen bekanntlich in der Nervenfaser einen Aktionsstrom aus, der in seiner Frequenz von der Reizgröße, die ihrerseits auch die Schmerzdauer bestimmt, abhängig ist.

Die beim Bohren, besonders mit stumpfen und verschmierten Bohrern und Steinchen, auftretenden Schmerzen sind zur Hauptsache auf die dabei gebildete Reibungswärme zurückzuführen. Diese Wärme wirkt sich jedoch nicht nur in Form eines thermischen Reizes aus, sondern sie trocknet auch das Dentin aus. Das bedeutet bei vitalen Zähnen eine Schrumpfung des Protoplasmas in den Dentinkanälchen und stellt einen sehr drastischen Reiz dar. Auf die Tatsache, daß bei der Kavitätenpräparation mit Hilfe der Bohrmaschine am Zahn Temperaturen entstehen können, die das Protoplasma in den Dentinkanälchen koagulieren, schädigende Wirkungen auf das Pulpagewebe ausüben und symptomlos zu Pulpennekrose führen können, wird von verschiedenen Autoren (*Heß*³¹, *Willis* und *Werner*¹¹⁶, *Bodecker*⁹) hingewiesen. Deshalb tritt als grundsätzliche Forderung die auf, daß bei gleichzeitiger Erhöhung des mechanischen Nutzeffektes die Gefahren für die vitale Pulpa bei der Kavitätenpräparation auf das Minimum gesenkt werden sollen, was durch Verhütung thermischer, physikalisch-chemischer sowie mechanischer Reize geschehen kann.

Vaughn und *Peyton*¹⁰⁹ fanden bei einer Rotationsgeschwindigkeit des Bohrers von 11000 U./min und einem aufgewendeten Druck von 1 kg maximale Temperaturen um 70° C, während *Funke* Temperaturen von über 120° C festgestellt haben will. Im Zahnninnern kann die Temperatur um mehrere Grade gesteigert werden (*Jesserich*). Dabei wird nach den genannten Autoren das Temperaturmaximum bereits nach wenigen Sekunden nach Arbeitsbeginn erreicht und ist abhängig von der Härte der Zahnschubstanz, der Rotationsgeschwindigkeit, dem Druck, der mit dem Bohrer ausgeübt wird, der Größe des Bohrerkopfes und seinem Relief.

Da aber selbst bei Anwendung des besten Instrumentariums und

der geeignetsten Technik in der Mehrzahl der Fälle die bei der Bearbeitung der harten Zahnschubstanz auftretenden Schmerzen nicht genügend unterdrückt werden können, sind – besonders im Verlauf der vergangenen Jahre – zahlreiche Mittel und Apparate angegeben worden, mit deren Hilfe es möglich schien, das Exkavieren, Fräsen, Schleifen vitaler Zähne total oder doch weitgehend schmerzlos zu gestalten. Aber die Vielzahl der Methoden deutet bereits auf die Tatsache hin, daß keines der Verfahren wirklich restlos befriedigen konnte und alle aus verschiedenen Gründen allmählich wieder fallen gelassen wurden.

Prinz und *Walkhoff* haben eine Reihe von Forderungen aufgestellt, die ein ihrer Ansicht nach geeignetes Dentinanästhetikum erfüllen müßte:

1. Es darf weder organische noch anorganische Zahngewebe schädigen oder sogar zerstören.
2. Es soll bei guter Tiefenwirkung keine irreversiblen Pulpsenschäden setzen.
3. Es soll in seiner Anwendung einfach sein.
4. Es soll überall appliziert werden können.
5. Seine pharmakologische Wirkung soll von kurzer Dauer sein.
6. Die Applikation darf nicht mit nennenswerten unangenehmen Sensationen verbunden sein oder solche in der Folge hervorrufen.
7. Es darf keine Verfärbungen hervorrufen.

Diese ursprünglich an Dentinanästhetika in Form von Pharmaka gerichteten Forderungen sind später unter Berücksichtigung neuer Methoden ergänzt worden (*Rebel*⁸², *Korkhaus*⁵⁷):

8. Die Wirkung soll innerhalb weniger Minuten eintreten.
9. Der Zahnarzt darf nicht durch zusätzliche Instrumente behindert werden.
10. Aufwand und Risiko sollen in einem angemessenen Verhältnis zum Resultat stehen.
11. Die Anästhesie soll während der Dauer der Kavitätenpräparation anhalten, ohne einer Erneuerung zu bedürfen.

Im folgenden Abschnitt sollen die verschiedenen in der Literatur angegebenen Mittel und Apparaturen zusammengestellt und kurz hinsichtlich ihrer Wirkungsweise sowie der bei ihrer Anwendung erzielten Resultate betrachtet werden.

Zu diesem Zweck scheint es von Vorteil, sie in bezug auf ihren Wirkungsmodus in drei Gruppen einzuordnen:

- a) Medikamentöse Dentinanästhetika (Anästhesie durch Diffusion, Druckanästhesie).
- b) Methoden, die mittels Kälte (Unterkühlung) beziehungsweise Wärme die Schmerzausschaltung anstreben oder die Bildung allzu großer Reibungswärme verhüten, und
- c) Geräte, die unter Herbeiziehung des elektrischen Stromes zur Unempfindlichmachung des Dentins verwendet werden.

a) *Pharmaka*

Die Gruppe der medikamentösen Dentinanästhetika umfaßt eine sehr große Zahl von Pharmaka, die auf dem *Diffusionsweg* in die Dentinkanälchen gelangen und eine Unempfindlichkeit des Zahnbekleidens hervorrufen.

Die Präparate der Phenol-, Formalin- und Paraformreihe stellen ätzende, gerbende Stoffe dar, die infolge ihrer Tiefenwirkung durch die Dentinkanälchen irreversible Pulpenschädigungen setzen können (*Heß*³²). Dabei bestehen oft gleitende Übergänge zwischen diesen sogenannten Dentinästhetika und eigentlichen Devitalisationsmitteln, welche sich oft nur in ihrer Konzentration von jenen unterscheiden (z. B. Paraformaldehyd). Ihre Wirkung besteht in Eiweißkoagulation, Wasserentzug, Lösung oder Fällung, Oxydation oder Substitution, Zerstörung der Odontoblasten.

Walkhoff hat das Einlegen von Karbolsäure oder Chlorphenol in die Kavität empfohlen, was jedoch als Anaesthesia dolorosa und in Pulpennähe als schädigend abgelehnt werden muß. Auch die Imprägnation mit Silbernitrat, Zinkchlorid, Lukomsky-Paste (33% NaI³), Desensyl und anderes mehr führt bei längerer Liegedauer der Mittel zu Pulpenschäden.

Das von *Andresen* angegebene Präparat «Dentamo» gestattet keine genaue Dosierung und ist auf Grund seiner Eigenschaft, Formaldehyd abzuspalten, wie das Paraform als gefährlich zu bezeichnen. Neben Formalinpräparaten, wie sie von *M. Schwarz*, *Gottlieb*, *Orban* und anderen empfohlen wurden, kommen auch ausgesprochene Protoplasmagifte (Arsenik, Scherbenkobalt, Nervocidin) zur Anwendung. Obwohl *Dalma* (zit. nach *Driak*¹⁹) angibt, das Nervocidin führe nur zu einer mehr oder weniger lang dauernden

Pulpenlähmung, ist bei seiner Verwendung Vorsicht geboten. Das gilt auch für die (Para-) Formaldehydpaste von *Buckley* (zit. nach *Driak*¹⁹) und das Dentinestol *Zhinden*.

Nach *Feil*²⁵ stellen auch Baume Flexer, Custodin und die *Hartmansche* Lösung, die *Spinner*²⁹ als eines der gefährlichsten Eiweiß-fällungsmittel bezeichnet, während *Schiller*³⁴ keine Pulpenschäden beobachtet hat, infolge ihrer Schädlichkeit für die lebende Pulpa keine geeigneten Präparate dar, und auch Tiranal, Radisan, Pulpinol, Norvegicum, Scheuers Exkavationssalbe, ätherische Öle sind wegen ihrer geringen Tiefenwirkung, ihrer zeitraubenden Applikation und ihrer Gefährlichkeit abzulehnen. Die Lösung von *Ossermann* und *Taub*, die von *Bianchi*⁶ untersucht wurde, stellt ebenfalls kein befriedigendes Mittel zur Dentinanästhesie dar.

Über neuere Präparate wie Cavidentol (*Spinner*) und Anodex-Sedative (*Dobkowsky*¹⁷) sind die Ansichten noch geteilt.

Ein russischer Autor (*Oksman*⁷³) hat die monomere Flüssigkeit des Methakrylsäuremethylesters zur Desensibilisierung des Dentins empfohlen und will dabei recht gute Resultate erzielt haben. Der histologische Befund wurde nicht erhoben.

Von den meisten Autoren wird den auf dem Diffusionsweg wirkenden Medikamenten neben ihrer Gefährlichkeit für die vitale Pulpa ungenügende Wirksamkeit, zeitraubende und oft schmerzhaft Applikation und Erzeugung von Zahnverfärbungen vorgeworfen.

Neben diesen vorwiegend eiweißfällenden Mitteln sind auch Anästhetika (z. B. Kokain, erstmals 1884, später in Form der *Walkhoffschen* Lösung; Salicain usw.) zum Zweck der Dentinanästhesie verwendet worden. Sie bewähren sich jedoch wegen der ihnen mangelnden Tiefenwirkung nicht. Selbst Dauereinlagen der Lokalanästhetika (z. B. Psicain, Pantocain, Panthesin) zeitigten nur ungenügende Ergebnisse. Aus diesem Grunde versuchte man, sie nach Enttattung der Dentinoberfläche mit Xylol und Warmluft unter Druck zur Anwendung zu bringen. Aber auch diese *Druckanästhesie* vermochte sich nicht einzubürgern, einmal wegen der Schmerzhaftigkeit ihrer zeitraubenden Applikation, dann auch wegen ihrer Unzuverlässigkeit. Gute Resultate sollen in letzter Zeit mit Salicain 10%ig, gelöst in Isopropylalkohol erzielt worden sein (*Korkhaus*⁵⁷).

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß bis heute kein Mittel gefunden werden konnte, das allen Anforderungen entspricht.

b) *Physikalische Methoden*

In der zweiten Gruppe sollen die verschiedenen Methoden, die die Schmerzausschaltung mit Hilfe von *Kälte* (Unterkühlung) beziehungsweise *Wärme* herbeiführen, besprochen werden.

Die anästhesierende Wirkung der Kälte wurde bereits um die Mitte des 16. Jahrhunderts von *Bartholin* und *Severino* beim Auflegen von Schnee erkannt und in die Heilkunde eingeführt. Später geriet diese Erkenntnis in Vergessenheit, bis 1817 *Larrey* und *Moricheau-Beaupré* während des napoleonischen Rußlandfeldzuges beobachteten, daß große operative Eingriffe bei sehr tiefer Temperatur relativ schmerzlos durchgeführt werden konnten. Doch noch 1839 stellte *Velpeau* fatalistisch fest: «Schmerzen zu vermeiden bei Operationen ist ein Trugbild, dem wir nicht länger nachjagen sollen!»

Einen wesentlichen Fortschritt bedeutete 1848 die Feststellung *Arnott's*, daß die Abkühlung desto besser und schmerzloser ertragen wurde, je langsamer sie vorgenommen wurde. Er erkannte damit bereits die Bedeutung der progressiven Temperaturerniedrigung. Zu diesem Zweck konstruierte er «a very simple apparatus»: Er füllte eine Schweinsblase mit warmem Wasser und brachte sie auf die zu anästhesierende Stelle. Dann gab er oben dauernd Eisstückchen hinein, während er unten das Wasser langsam abfließen ließ. Dadurch kühlte sich der Inhalt der Blase langsam und gleichmäßig bis auf 0° ab, und nach 15–20 Minuten war eine ausreichende Unempfindlichkeit der Haut erreicht. Gewebsveränderungen infolge der Kälte Wirkung wurden nicht festgestellt, und das plötzliche Auftauen wurde nicht als schmerzhaft empfunden. *Hunter* (zit. nach *Delibéros*¹⁴⁾) bestätigte 1859 diese Beobachtungen.

1856 führte *Quinton*⁸¹⁾ entsprechende Versuche an Zähnen durch und fand, daß Schmerzen nur dann auftraten, wenn die vitale Pulpa von tiefen Temperaturen plötzlich überrascht wurde. Mit *Blundell* (zit. nach *Schmid*⁹⁶⁾) zusammen konstruierte er einen Apparat, der die langsame, einschleichende Abkühlung einer Gefriermischung von Körpertemperatur bis auf –10 bis –15° C ermöglichte und relativ gute Ergebnisse zeitigte, ohne «schlimme Folgen und gefährliche Desorganisationen» hervorzurufen. Er empfahl, nach dem Eingriff

«diesen Theilen mit weiser Vorsicht und besonderer Achtsamkeit wieder zu ihren normalen Funktionen zu verhelfen».

Ein Jahr später berichtete *Robinson*⁸², der im Gegensatz zu *Dwinelle* (zit. nach *Quinton*⁸¹) die Anästhesie im Mundbereich befürwortete, über ein Gerät, das ein allmähliches Einschleichen gestattete, und *Putnam*⁸⁰ brachte eine Apparatur zur Anwendung, die mittels einer Gefriermischung in 1–3 Minuten eine befriedigende Unempfindlichkeit zustande brachte, in ihrer Applikation jedoch oft sehr schmerzhaft war.

Eine weitere Methode der Kälteanwendung wurde 1858 von *zur Nedden*⁷¹ angegeben: Wasserfreier Alkohol wurde durch eine Kältemischung auf -10 bis -15°C abgekühlt und zirkulierte in einem geschlossenen System unter der Einwirkung einer Saug- und Druckpumpe. Die Anästhesie wurde nach 10–15 Minuten erreicht, ohne Einschleichvorgang nach 2–5 Minuten und hielt für $\frac{1}{2}$ –1 Minute an.

1863 gab *Oudry* (zit. nach *Restarsky*⁸⁶) eine weitere Apparatur zur Zahnkühlung an.

Alle diese Methoden führten bei ziemlich schmerzfreier Applikation zu einer absoluten oder doch weitgehenden Schmerzverhütung und zogen keine unangenehmen Folgen nach sich. Die kurze Anästhesiedauer beschränkte ihre Verwendung jedoch auf kleine chirurgische Eingriffe, besonders Zahnextraktionen.

(a) Die Zahl der Apparaturen, die mit Hilfe von Kälte die mechanische Bearbeitung der Zahnhartsubstanz schmerzlos gestalten sollten, zum größten Teil aber nur noch Museumswert besitzen, ist nicht besonders groß.

Finney (zit. nach *Turnovszky*¹⁰⁸) beziehungsweise *Richardson* (zit. nach *Riethe*⁹⁰, *Kieffer*⁴⁹) sollen als erste 1866 einen Ätherspray zur Vereisung des Dentins verwendet haben. Dabei wurde mittels einer Spritze («Etherspray») ein Ätherstrom auf den zu behandelnden Zahn geleitet und der unter Bildung von Verdunstungskälte vor sich gehende Übergang des Äthers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand zur Unterkühlung ausgenützt. Diese Temperaturerniedrigung setzte plötzlich ein, womit das Prinzip des Einschleichens fallen gelassen wurde.

Hirsch (zit. nach *Riethe*⁹⁰) erreichte eine Abkühlung des zu behandelnden Objektes mit dem sogenannten «Gum-Irrigations-

apparat », bestehend aus einer Spritzflasche und einem Gebläse zur Erzeugung eines nach Bedarf temperierten Wasserstrahls.

1892 zog *Baudoin* (zit. nach *Kieffer*⁴⁹) das Kelen zur Desensibilisierung des Dentins herbei, stellte aber neben schnellerem Eintreten des Effektes zu geringe Tiefenwirkung fest. Der Chloräthylspray, der irreversible Pulpenveränderungen hervorzurufen imstande ist, ist überdies als *Anaesthesia dolorosa* abzulehnen.

Sauvez, Tison, d'Argent (zit. nach *Riethe*⁹⁰) beschrieben einen Apparat («Coryleur»), der unter Verwendung eines Chlormethyl-Chloräthyl-Gemisches (sog. Coryl) arbeitete, und *Sauvez* (zit. nach *Riethe*⁹⁰) empfahl den «Anästhetiseur» von *Benque* mit der gleichen Mischung.

Dannequin (zit. nach *Riethe*⁸⁸) konstruierte 1932 den mittels Luft und Äthylchlorid Kälte erzeugenden Apparat «Frigigrad», und *Vapierre* beschrieb 1935 einen Chloräthylzerstäuber, gegen den auf Grund des in die Mundhöhle geblasenen Chloräthyls verschiedentlich Bedenken geäußert wurden (*Korkhaus*⁵⁷).

Im folgenden Jahr teilte *Brussen*¹² sehr gute Erfolge bei Verwendung seines an Hand- und Winkelstück anschließbaren Apparates mit. Es handelte sich darum, Sauerstoff unter Druck aus zwei Richtungen an den Bohrerkopf zu blasen, wodurch der Bohrer gekühlt und das Dentin ausgetrocknet wurde. Zur Erhöhung des Effektes wurde für eine Minute ein mit Carvacrol und Äther befeuchteter Wattebausch in die trockene Kavität eingelegt.

Ein ähnliches Gerät, wie es *Oudry* angegeben hatte, wurde 1937 von *Chaydeane* und *Black* (zit. nach *Restarski*⁸⁵) empfohlen (Freon-Unit): Kleine, hohle Metallkörper, durch die eine Kältemischung strömte, wurden mittels modifizierter Kofferdamklammern fest gegen die Gingiva gehalten. Die Anästhesie, die etwa 3 Minuten anhielt, soll nach 3–5 Minuten erreicht worden sein, und die Erfolgsquote betrug nach Angaben des Naval Medical Research Institute, Nat. Naval Center, Bethesda, und der School of Dental and Oral Surgery, Columbia University, 70–80%. Der nachfolgend erhobene histologische Befund ergab keine pathologischen Veränderungen von Gingiva und Zähnen, die während zweier Stunden auf 1–2° C unterkühlt worden waren.

Eine Reihe weiterer Methoden beruht auf der Anwendung von Kohlendioxyd, dessen schmerzlindernde Wirkung schon 1772 von

englischen Chirurgen erkannt und 1794 von *Ingen Housz* in «*Miscellanea Physico Medica*» bestätigt wurde (zit. nach *Kieffer*⁴⁹). Auch flüssige Luft und flüssiges Stickoxydul wurden zum Zweck der Dentinanästhesie verwendet.

Das Kohlendioxyd besitzt neben seiner großen Verdunstungskälte, seiner austrocknenden Wirkung eine weitere spezifische Wirksamkeit, die jedoch erst ungenügend abgeklärt ist.

Aus dieser Überlegung heraus versuchte *Walkhoff* (zit. nach *Welisch*¹¹⁵), der die Kälte als schnellste und sicherste Methode für die Anästhesie des Dentins hielt, auf dem Zahn selbst CO₂ zu erzeugen und dadurch Kälte zu produzieren.

War es bisher unmöglich, die Kälte bei ihrer Applikation in ihrer Menge und Temperatur exakt zu dosieren, so bedeutete *Fabrets*²⁴ «*Gazothermie*», der 1920 erstmals vorgeführt wurde, einen wesentlichen Fortschritt in dieser Richtung. Bei diesem Apparat wird mit Hilfe geheizten, reinen Sauerstoffes das freigelegte Dentin ausgetrocknet und dadurch seine Schmerzempfindlichkeit herabgesetzt. Dann wird der Sauerstoffstrom durch zugeführtes Kohlendioxyd allmählich in feinst dosierter Progression und ohne unangenehme Sensationen für den Patienten abgekühlt bis auf -2 bis -5°C (Prämolaren bis -10°C), wobei sich der Zahn mit einer feinen Reifschicht bedeckt und schmerzlos bearbeiten läßt. Die Wirkung besteht in einer Störung einerseits des chemischen und anderseits des physikalischen Gleichgewichts. Die Apparatur hat sich aber trotz günstiger Resultate (*Guébel*, zit. nach *Riethe*⁹⁰, *Welisch*¹¹⁵, *Kieffer*⁵⁰, *Schmid*⁹⁶) und trotz dem Fehlen von schwereren Pulpenveränderungen (*Driak*¹⁸, *Schmid*⁹⁶, *Kieferle*⁴⁸) nicht durchzusetzen vermocht.

*Roos*⁹³ ging 1939 bei der Konstruktion seines «*Waropa*»-Apparates von der Überlegung aus, daß CO₂, die während des Bohrens am Bohrerkopf und in der Kavität zum Verdampfen gebracht wird, einerseits durch die gebildete Verdunstungskälte die Erzeugung gesteigerter Temperaturen infolge Reibung zu reduzieren oder gänzlich zu verhindern und gleichzeitig die Schmerzempfindlichkeit durch Blockierung der verantwortlichen Elemente herabzusetzen vermag, anderseits auf Grund seines spezifischen Effektes eine Desensibilisierung des Dentins hervorruft. Zu diesem Zweck führte er eine CO₂-Leitung zum Hand- beziehungsweise Winkelstück und

ließ das komprimierte Gas, das längs des Bohrerschaftes austrat und in die trockene Kavität geblasen wurde, sich dort entspannen. Bei einem Druckgefälle von etwa 30 Atm. ließ sich eine Temperatur von etwa -10°C erreichen. Infolge der Reibung während des Arbeitens stiegen diese Temperaturen um einige Grad an, so daß in keinem Fall die Pulpa geschädigt wurde. Nachschmerzen traten nicht auf. Die Erfolgsquote beträgt nach *Opp* (zit. nach *Riethe*⁸⁸), *Dietrich*¹⁶, *Branchini*¹⁰, *Turnovszky*¹⁰⁸, *Soresi*⁹⁸, *Dubois-Prévost*²¹, *Hammelev*²⁹, *Tschopp*¹⁰⁷ und anderen 75–90 %. Als Hauptnachteil ist die Unhandlichkeit und die Unsterilisierbarkeit von Hand- und Winkelstück zu werten. An schwer zugänglichen oder nicht trocken zu haltenden Stellen versagt die Methode häufig. Die Anwendung ist selbst bei Arteriosklerose, Angina pectoris, Aneurysma, Herzvitien, Morbus Basedow usw. gefahrlos, und Pulpenschädigungen werden keine beobachtet (*Wannenmacher*, zit. nach *Roos*⁹³ u. a.). Eine wesentliche Vereinfachung der Apparatur des Waropa-Apparates ist neuerdings durchgeführt worden, welche die Handlichkeit desselben erhöht.

Mit dem Carboflux von *Weski*, der wie *Bauchwitz* einen erhitzten CO_2 -Strom auf den zu behandelnden Zahn einwirken läßt, wurden neben positiven (*Wehrli-Ilisch*, zit. nach *Kluczka*⁵³) auch negative (*Therkelsen*¹⁰³) Resultate ermittelt. Der Apparat konnte sich deshalb und wegen vereinzelt auftretender Pulpenschäden sowie infolge der Schmerzhaftigkeit der Applikation nicht durchsetzen.

Auch der «Carbotherm», der von *Pellkofer*^{75, 76} beschrieben wurde, arbeitet mit erhitztem CO_2 von $20\text{--}40^{\circ}\text{C}$, das, in seiner Menge regulierbar, durch Düsen an den Zahn und in die Kavität geblasen wird. Die innerhalb von einer halben bis einer Minute erreichte Unempfindlichkeit beruht auf der starken Austrocknung des Dentins durch chemische Bindung von Wasser und auf dem «spezifischen, anästhetischen Effekt des Kohlendioxyds», dem eine ermüdende Wirkung auf die Schmerzrezeptoren zugeschrieben wird (sog. *Bauchwitz-Effekt*). Die Anwendung ist weder mit einem momentanen Kälteschock noch mit Nachschmerzen verbunden. Über befriedigende Ergebnisse haben *Dausch* (zit. nach *Korkhaus*⁵⁷), *Kluczka*⁵³ berichtet, während *Heuser*³⁴ die Unhandlichkeit von Hand- und Winkelstück beanstandet. Pulpenschäden wurden nicht beobachtet (*Pohl* und *Riethe*). Auf demselben Prinzip beruht die

Anwendung des «Dörrcotherm»-Gerätes (*Tracksdorf*¹⁰⁶), das mit CO₂ von Zimmertemperatur arbeitet und bei trocken gelegtem Arbeitsfeld 80% positive Ergebnisse zeitigen soll. In Pulpennähe tritt ein leichter Warnschmerz in Erscheinung; Pulpeneröffnungen sollen jedoch schmerzlos verlaufen.

Ähnlich wie *Roos* arbeitete auch *Thomas*¹⁰² mit einem speziell konstruierten Handstück, das die Evaporation eines CO₂-Stromes zur Bohrer kühlung erlaubt. In etwas mehr als der Hälfte der Fälle wurde beim Ansetzen des kalten Bohrers am Zahn ein heftiger Initialschmerz ausgelöst. Die Erfolge bezifferten sich auf etwa 77%. Der Autor hat auch die am Zahn auftretenden Temperaturen gemessen und für gewöhnliche Bohrer 40–50°, für gekühlte dagegen nur 30–40° C gefunden. Pulpenschäden wurden keine beobachtet.

(b) Da viele Zahnärzte eine weitgehende Schmerzreduktion der völligen Unempfindlichkeit des Zahnes bei der Kavitätenpräparation vorziehen, sind verschiedene Methoden und Geräte entwickelt worden, die die Sensibilität des Dentins stark herabsetzen, sie aber nicht vollständig aufheben.

Beim «Nira»-Gerät von *Rahbek* (zit. nach *Korkhaus*⁵⁷) wird die Reibungswärme durch einen leicht gekühlten Luftstrom abgeleitet, während beim ähnlichen Vorgehen nach *Gray* (zit. nach *Korkhaus*⁵⁷) Luft von 21° C zur Verwendung kommt.

Im Gegensatz zu vielen Fachvertretern, die die übersichtliche, schmerzverminderte Trockenpräparation empfehlen, tritt *Riederer*⁸⁷ neben anderen Autoren (*Hattiyasy*³⁰, *G. Fischer*, zit. nach *Korkhaus*⁵⁷, *Heuser*³⁴) für die Naßpräparation ein und bespült den Bohrer unter mäßigem Druck dauernd mit einem Flüssigkeitsstrahl (Katadyn- oder Merfenlösung) von 37–40° C (Aseptor nach *Riederer*). Dadurch wird das angeschnittene Dentin unter biologischen Bedingungen gehalten, die Reibungswärme wird abgeleitet und Kavität und Bohrer bleiben sauber, während die Übersichtlichkeit des Arbeitsfeldes zum Teil verloren geht.

Eine ähnliche Methode beschreiben *Lawton* und *Myers*⁵⁹, die mittels gebogener Düsen den Bohrerkopf mit Wasser bespülen, und *Bodenmüller* (zit. nach *Fischer*²⁶, *Heß*³²), der bei seinem «Body-Spray» ein Warmwasser-Luftgemisch zur Ableitung der Reibungswärme verwendet.

Apparate wie der «Dralator» von *Abraham*, das «Dentadolor»-

Gerät (*Jacobsen*³⁸), der «Rahinator», der Anästhesie-Sprüher der Firma Pfingsten, Solingen, sollen nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

c) Elektrische beziehungsweise elektro-medikamentöse Methoden

Bereits vor Jahren wurde auch der elektrische Strom zur Desensibilisierung des Zahnbeins verwendet, und zwar geschah dies erstmals durch *Morton* (zit. nach *Ketterl*⁴⁵, *Welisch*¹¹⁵ u.a.). *Black* transportierte mittels Kataphorese eine konzentrierte Kokainlösung durch einen galvanischen Gleichstrom ins Dentin. Die Kathode lag dabei in der Kavität, die Anode in der Hand des Patienten. Die Methode bewährte sich aber wegen ihrer Kompliziertheit, wegen des sehr verzögert eintretenden Effektes und der bei der Applikation meist beobachteten Schmerzen nicht. Auch sollen neben Pulpenschädigungen Nekrosen ganzer Knochenpartien hervorgerufen worden sein.

Gestützt auf die Tatsache, daß ein Gleichstrom von unter-schwelliger Stärke die Pulpa nicht irritiert, aber die Erregbarkeit eines Nerven in dem Sinne verändert, daß sie am negativen Pol ansteigt und am positiven abfällt, entwickelte *Suzuki*¹⁰¹ eine neue Methode zur Unempfindlichmachung des Dentins. Er verband das Operationsfeld mit der Anode (in Form des Bohrers!), während dem Patienten die Kathode in die Hand gegeben wurde, und beobachtete eine Verminderung der Empfindlichkeit (infolge Anelektrotonus). Schwierigkeiten zeigten sich besonders bei der Isolation von Hand- und Winkelstück, im Kontakt zwischen Hand- und Winkelstück und Bohrer und zwischen Bohrer und Zahn. Resultate wurden nicht bekanntgegeben.

Neben dem galvanischen Gleichstrom wurden auch Hochfrequenzströme für die Dentinästhesie herangezogen (*Becker, Flohr, Klein, Constaining*, zit. nach *Kluczka*⁵³), die jedoch die Pulpa irreversibel zu schädigen vermochten (*Stubenrauch*, zit. nach *Korkhaus*²⁷).

d) Bei der Einführung des Sandstrahlgebläses in die Zahnheilkunde hatte man sich von der «Airbrasive Technik» neben der Möglichkeit schnelleren Arbeitens auch eine weitgehende Schmerzreduktion versprochen und diese entsprechend propagiert (*Vielleville*¹¹¹, *Schoolwerth*⁹⁷, *R. B. Black*⁷, *Roach*⁹¹ u.a.). Schon sehr bald wurden jedoch in der Literatur gegenteilige Feststellungen mitgeteilt: The factor

of pain should not be minimized (*Epstein*²²). Analoge Beobachtungen erwähnten unter anderem auch *de Vere Green*¹¹⁰, *Norton*⁷², *Waldsa*¹¹³.

Es sind also die Ansichten über die Schmerzlosigkeit der Methode geteilt, und die Tatsache, daß die meisten Autoren die Anwendung des Aident-Verfahrens unter Leitungsanästhesie empfehlen, läßt auf keine wesentliche Schmerzverminderung bei der Kavitätenpräparation schließen!

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

Viele der oben genannten Apparaturen sind nach kurzer Zeit wieder in Vergessenheit geraten, und sehr viele haben heute lediglich noch Museumswert.

Das ist einerseits wohl auf die zahlreichen Nachteile, die ihnen anhafteten, zurückzuführen: Oft standen die erreichbaren Ergebnisse in keinem Verhältnis zum Aufwand, sowohl dem zeitlichen (Kataphorese) als auch dem pekuniären (Airbrasive); oft war die Applikation mit Schmerzen verbunden («Etherspray», «Kelen-Spray», «Carboflux») oder erforderte eine Assistenz (Gazotherme, Dörrcotherm). In einigen Fällen waren die Geräte zu kompliziert in ihrer Anwendung (Kataphorese), in anderen wenig handlich in ihrer Konstruktion (Carbotherm), und bei einigen Methoden bestand die Gefahr von Spätfolgen in Form irreversibler Pulpenschädigungen (Kataphorese, Kelen).

Auf der anderen Seite liegt das Verschwinden der Mehrzahl der Dentineanästhesiegeräte aber auch darin begründet, daß der Zahnarzt sich nicht die – scheinbar zusätzliche – Mühe nimmt, dem Patienten die beim Bohren und Schleifen auftretenden Schmerzen durch Anwendung eines solchen Apparates erträglich zu machen, sondern lieber gleich zur Spritze greift.

Ich möchte die Bedeutung der Injektionsanästhesie in der konservierenden Zahnheilkunde keinesfalls in Frage stellen, aber in sehr vielen Fällen sind auch durch Verwendung einfacherer Mittel sehr gute Resultate zu erzielen. Natürlich ist dazu in jedem Fall eine genaue Indikationsstellung erforderlich, da die wahllose Anwendung einer bestimmten Methode immer zu unbefriedigenden Ergebnissen und zu Enttäuschungen des Patienten wie des Zahnarztes führen wird.

Im folgenden sollen nun zwei der neuesten Dentineanästhesiegeräte, der «Nondolor» und das «Dentaltron», eingehend besprochen

werden, unter Berücksichtigung ihrer Arbeitsweise, ihrer Konstruktion, ihrer Anwendung und Verwendbarkeit (Indikation), ihrer Vorzüge und Nachteile und der mit ihnen erzielten klinischen Resultate. Über die Einwirkung der beiden Methoden auf das Pulpagewebe sollen die histologischen Untersuchungen Auskunft geben.

III. Theoretische Grundlagen der Nondolor-Anästhesie

1. Grundlagen

Gestützt auf die sichere Erfahrung, daß ein Nerv bei Temperaturen, die von der Körpertemperatur um mehrere Grade nach oben oder unten abweichen, sein Leistungsvermögen teilweise oder vollständig einbüßt, wurde das Nondolor-Gerät entwickelt, nachdem die oben erwähnten, früheren Apparate aus verschiedenen Gründen nicht befriedigt und sich deshalb nicht einzubürgern vermocht hatten.

Es ist eine unbestrittene Tatsache, daß Kälte die Empfindlichkeit lebender Gewebe herabsetzt oder ganz ausschaltet. Bereits eine Abkühlung auf $+5^{\circ}\text{C}$ vermindert die Empfindlichkeit eines Nerven (Grützner, zit. nach Kieffer⁴⁹), während eine Temperatur von 0° seine Leitungsfähigkeit unterbricht. Diese kehrt aber nach Abschluß der Kälte Wirkung sofort zurück (Kieffer⁴⁹). Gendre (zit. nach Kieffer⁵⁰) arbeitete mit verschiedenen Nerven und fand dabei, daß ihr Leistungsvermögen bereits bei Temperaturen, die nur wenig von der Körpertemperatur abwichen, herabgesetzt war, während die Empfindlichkeit, besonders gegenüber mechanischen Reizen, bei -3° bis -6°C gänzlich ausgeschaltet war.

Daraus geht hervor, daß ein Nerv, der im Vollbesitz seiner Funktion bleiben soll, eines gewissen Temperaturgrades, eines physikalischen Gleichgewichtes bedarf, das bei Körpertemperatur optimal ist. Sein Leistungsvermögen nimmt in dem Maße ab, in welchem die Temperatur von der Körpertemperatur abweicht, und erreicht den Wert Null, wenn die Temperaturdifferenz genügend groß geworden ist. Das wird damit erklärt, daß hohe beziehungsweise tiefe Temperaturen die histologische Struktur der Nervenoberfläche verändern, was zu einer Kompression der tiefer gelegenen Gewebselemente und damit zu einer Änderung der physiologischen Tätigkeit führt, ähnlich wie das Leistungsvermögen eines Nerven auch durch

heftigen Druck (Ligatur!) herabgesetzt wird. Diese anästhesierende Wirkung beruht auf einer Störung des physikalischen Gleichgewichtes (*Kieffer*⁵⁰).

Da plötzliche Temperaturveränderungen am Zahn sehr heftige Schmerzen auslösen, kommt der grundlegenden Feststellung von *Afanasief* und *Rosenthal*, *Grünhagen* und *Heinzmann* (zit. nach *Kieffer*⁵⁰) große Bedeutung zu. Auf Grund der Beobachtung, daß eine langsame, gleichmäßige Temperatursenkung unter Umständen nicht unangenehm empfunden wird, haben diese Autoren erkannt, daß nicht die Wirkung eines Reizes an und für sich eine Empfindung auslöst, sondern die Veränderung, die zu Anfang und zu Ende einer Reizschwelle auf die Moleküle einwirkt, also die Änderung in der Atomspannung des betreffenden Organes. Ein an und für sich schmerzhaftes Verfahren kann schmerzlos angewendet werden, wenn es nur gelingt, die Senkung beziehungsweise Steigerung der Temperatur oder die Steigerung der Stärke eines elektrischen Stromes so fein zu dosieren, daß sie vom Patienten nicht wahrgenommen wird. Die Intensität der Reaktion ist proportional der Stärke, mit der der Reiz erfolgt. Sie ist um so kleiner, je feiner die Progression dosiert wird.

Eine Hauptschwierigkeit bestand bei den älteren Modifikationen der Kälteanästhesiesysteme stets in der Erreichung einer zuverlässigen Dosierung und Kontrolle der Kühlung. Der Nondolor, der neueste, von *Blaschke* und *Schaaf* entwickelte Kälteapparat, wird auch diesen Forderungen weitgehend gerecht. Er fördert mittels eines durch einen Elektromotor angetriebenen Gebläses Luft, kühlt sie mit regulierbarer Geschwindigkeit ab und führt sie in gereinigtem Zustand durch einen wärmeisolierten Schlauch in ein Handstück. Hier wird die Luft in ihrer Menge begrenzt, wenn nötig geheizt und in ihrer Temperatur gemessen. Dadurch wird eine fein dosierte und annähernd konstante Progression der Abkühlung (Einschleichen) ermöglicht, und die Arbeitstemperatur von -4° bis -1° C läßt sich im allgemeinen schmerzlos erreichen. Durch den bei Beginn der Applikation auf Körpertemperatur aufgeheizten Luftstrom wird die Dentinoberfläche ausgetrocknet (vgl. «Gazotherme», «Carbotherm» usw.). Das führt zu einer Störung des chemischen Gleichgewichtes der in Frage kommenden nervösen Elemente, während durch die Unterkühlung das physikalische Gleichgewicht gestört

wird. Wie weit auf dieser Temperaturstufe von $+1^{\circ}$ bis $+4^{\circ}$ C Schmerzfreiheit oder wenigstens bedeutende Schmerzverminderung zustandekommt, wird weiter unten ausgeführt werden.

2. Beschreibung der Apparatur

Der Nondolor-Apparat, von der Firma Schaaf & Co. in Solingen hergestellt und 1951 erstmals in einer Fachzeitschrift erwähnt (ZW, 6, 70; 1951), stellt die neueste Modifikation der Dentinanästhesiegeräte dar, die mittels Kälte totale oder doch teilweise Unempfindlichkeit erzeugen. Leider wird in einer kurzen Entgegnung auf obige Notiz (ZW, 6, 184; 1951) ein völlig falsches Bild von der vorliegenden Apparatur entworfen, worin derartigen Geräten grundsätzlich jede Bedeutung aberkannt wird. Kluczka⁵¹ hat als erster über seine Erfahrungen mit dem Nondolor berichtet. Er fand, daß mittels der unterkühlten Luft eine «unschädliche und zuverlässige Anästhesie lebender Organe» zu erreichen sei. Der Apparat gestatte eine genaue Dosierung und Überwachung der Anästhesie, deren Unterbrechung jederzeit möglich sei. Schäden seien weder an der Pulpa noch an anderen Geweben zu erwarten.

Das Nondolor-Gerät wird in Form eines ziemlich umfangreichen, auf vier Rollen fahrbaren Schrankes ($104 \times 47 \times 41$ cm) gebaut, dessen Rückseite so konstruiert ist, daß sie als Ganzes aufgeklappt werden kann, wodurch die normale Wartung ermöglicht wird. Ein Teil der oberen Türhälfte ist gitterartig durchbrochen, damit die angesaugte Luft möglichst ungehindert zum Filter gelangen kann. In der linken oberen Türecke findet sich eine Aussparung für die Stromzuführung, wobei der Stecker beim Öffnen der Türe automatisch herausgezogen und damit der Netzanschluß unterbrochen wird. Auf der Vorderseite des Apparates tritt links der wärmeisolierte, etwa 80 cm lange, nach allen Seiten gut bewegliche Schlauch von 25 mm Durchmesser aus, der die filtrierte und gekühlte Luft einem speziell konstruierten Handstück zuführt, das in eine rechts oben vorspringende Aufhängevorrichtung aufgenommen werden kann, wenn der Apparat nicht in Betrieb steht. Über dem in der Mitte der Vorderwand angebrachten Hauptschalter ist eine mit zwei Zeigern versehene Uhr eingebaut, die bei eingeschaltetem Gerät elektrisch betrieben dauernd läuft, und zwar macht der große Zeiger in einer Minute die volle Umdrehung, während der kleine für einen Umlauf 12 Minuten

benötigt. Diese Anordnung wurde gewählt, um dem Zahnarzt eine möglichst einfache Kontrolle der Applikationsdauer mittels Minutenablesung zu gestatten. Die beiden seitlichen Wände besitzen je einen festen Handgriff, damit die Apparatur im Behandlungsraum beliebig bewegt werden kann, ohne am Luftschlauch, der dieser Beanspruchung nicht gewachsen ist, gezogen werden zu müssen.

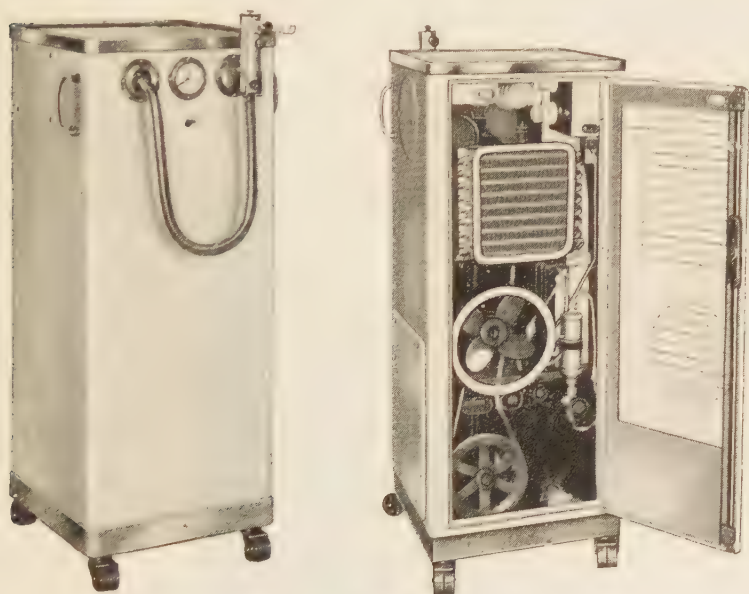


Abb. 1

Das Gerät als solches ist aus drei Elementen zusammengesetzt:

- a) aus der Anlage zur Förderung, Reinigung, Trocknung und Erwärmung der Luft,
- b) aus der Anlage zur Erzeugung der notwendigen Kälte, und
- c) aus dem Antriebsmotor und der elektrischen Anlage (Abb. 1).

a) Die Luft wird durch die oben erwähnten Schlitzte in der Rückwand des Kastens angesaugt und gelangt zu einem doppelten Filter. Dieses besteht aus einem Vorfilter in Form eines Labyrinth-Filtereinsatzes und aus einem Trockenschicht-Filtereinsatz. Beim Passieren dieses Reinigers werden der Raumluft alle größeren Verunreinigungen

gungen (Staub usw.), sowie der Großteil der vorhandenen Mikroorganismen entzogen. Von hier wird der Luftstrom zum Kompressor geführt, und schließlich gelangt er an einem Überdruckventil und dem in die Druckleitung des Gebläses eingebauten Ölabscheider vorbei zum Verdampfer, wo er getrocknet wird. Das der Luft entzogene Wasser sammelt sich unten im Verdampfer an und kann mittels eines unten rechts angebrachten Hahnes abgelassen werden. Gleichzeitig mit dem Feuchtigkeitsentzug erfolgt auch die Abkühlung der Luft, und im wärmeisolierten Schlauch verläßt sie schließlich das Gerät, um der sogenannten Pistole zugeführt zu werden, die gleich etwas eingehender beschrieben werden soll.



Abb. 2

Die Pistole setzt sich äußerlich aus drei Abschnitten zusammen: dem Pistolenfuß, angeschlossen an den Schlauch, dem Pistolenenschaft, der die Heizanlage zur Erwärmung des passierenden Luftstromes und die Drosselklappe enthält, und dem Pistolenkopf, auf dessen Stirnfläche ein Thermometer sowie der Kältestoppschalter angebracht sind (Abb. 2).

Die Heizanlage, der die Aufgabe zukommt, den Luftstrom vor dem Beginn der Applikation auf Körpertemperatur zu erwärmen, besteht aus einem auswechselbaren Heizwiderstand, dem durch Betätigung des am oberen Schaftende vorspringenden Druckknopfschalters bei mäßigem Druck 14 V, 2,7 A und bei völlig eingedrücktem Knopf 14 V, 5,5 A zugeführt werden können, was sich im ersten Fall in einer schwächeren, im zweiten in einer stärkeren Erwärmung der vorbeistreichenden Luft auswirkt. Die letzten Serien sind nur noch mit *einer* Stufe (14 V, 5,5 A) ausgerüstet.

Die pro Zeiteinheit austretende Luftmenge kann durch eine Drossel reguliert werden, und zwar strömen bei offener Klappe etwa 80 l min (beim vorliegenden Gerät 76 l min), bei geschlossener etwa 20 l min aus. Die bei geöffneter Drossel gelieferte Menge wird durch die Kompressorleistung und die Einstellung des Überdruckventils, die im Herstellerwerk vorgenommen wird, bestimmt.

Das auf dem Pistolendeckel montierte Thermometer zur Kontrolle der Temperatur der austretenden Luft zeigt drei Skalenstriche, die die Ablesung von $+35^{\circ}\text{C}$, $+4^{\circ}\text{C}$ und $+1^{\circ}\text{C}$ gestatten, wobei diese Meßwerte für die Temperatur 5 mm vor dem Ende der auf die Pistole aufzusteckenden geraden Glasdüsen von 10 cm Länge gelten. Bei gebogenen Düsen erhöhen sich die Werte um 1° , ebenso bei vergrößertem Abstand des Düsenendes vom Objekt. Diese für die verschiedenen Anwendungsbereiche in verschiedenen Formen gelieferten Düsen von 8 mm Durchmesser werden in die senkrecht zum Schaft stehende Gummifassung gesteckt und können, falls dies notwendig erscheint, durch Rechtsdrehung des Abschlußringes leicht festgeklemmt werden. Das Thermometer kann wie der Heizwiderstand ausgewechselt werden. Die Kältestoppvorrichtung, die durch Eindrücken des am Pistolendeckel befindlichen Schaltknopfes betätigt wird, hat den Zweck, die Lufttemperatur nicht unter $+1^{\circ}\text{C}$ sinken zu lassen, um bei tieferen Kältegraden möglichen ungünstigen Einflüssen auf die Pulpa vorzubeugen, indem durch die Kontraktion eines Bimetallstreifens bei $+1^{\circ}\text{C}$ ein Kontakt hergestellt und die Heizspirale unter Strom gesetzt wird.

b) Die Anlage zur Erzeugung der benötigten Kälte besteht aus folgenden Bestandteilen: Vom Sammelgefäß führt die Kälteleitung über ein Filter, ein Absperrventil, eine Trockenpatrone und ein gegen Kälteverlust isoliertes Einspritzventil zum Spezialverdampfer,

wo die durch die Expansion des zirkulierenden Chloräthyls erzeugte Kälte die durchströmende Luft auf ihre Arbeitstemperatur abkühlt. Durch den im Sammelgefäß befindlichen Überschußverdampfer und ein zwischengeschaltetes Filter gelangt das Kelen zum Kolbenkompressor und schließlich über einen Kondensator zurück zum Sammelgefäß. Die Kälteanlage ist so eingestellt, daß das Gerät bei normaler Außentemperatur bereits nach einem Minimum an Anlaufzeit betriebsbereit ist und auch an heißen Tagen noch genügend Kälte liefert.

c) Der Antrieb sowohl des Luft- als auch des Kältekompressors erfolgt durch einen Einphasenwechselstrommotor, eingerichtet für 220 V, der auf drei Gummilagern ruht, deren eines in eine in ihrer Länge variable Strebe übergeht, wodurch der Spannungsgrad des Keilriemens reguliert werden kann.

Die Stromzuleitung geschieht durch Einführen eines Steckers mit Netzanschluß in die Steckbüchse an der Rückseite des Schrankes. Sie wird beim Öffnen der Türe automatisch unterbrochen, wodurch Unfälle bei leichtsinniger Handhabung der Apparatur bei offener Türe weitgehend vermieden werden.

Das Gerät wird durch zwei Sicherungen von 10 A geschützt. Bei der jetzigen Ausführung wird der Motor mit einem eingebauten Schutzschalter (sog. Klicksenschalter) geliefert, der beim Heißlaufen in Funktion tritt, den Motor selbsttätig ausschaltet und ihn nachfolgend automatisch wieder in Gang setzt.

Die elektrische Anlage umfaßt außerdem den Trafo für 14 V, 5 A, zur Versorgung der Heizung im Pistolenschaft. Der Hauptschalter des Nondolors befindet sich in der Mitte der Vorderwand, unterhalb der Uhr.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß im Nondolor ein Elektromotor und zwei Kompressoren in Betrieb stehen, läuft der Apparat sehr geräuscharm.

3. Wartung der Apparatur

Bei der ersten Inbetriebnahme des Nondolors ist vor allem darauf zu achten, daß nur eine einwandfreie Steckdose mit tadelloser Erdung benützt wird. Weiter soll sofort kontrolliert werden, ob die beiden Sicherungen fest eingeschraubt sind. Das Ventil in der Kälteleitung wird geöffnet und der Wasserablaßhahn geschlossen, da die

Luft sonst hier entweicht und das Gerät nicht funktioniert. Dann wird die Rückwand zugeklappt, da der Apparat sicherheitshalber bei geschlossener Tür laufen soll.

Die eigentliche Wartung beschränkt sich auf einige periodisch vorzunehmende kleine, aber deshalb nicht unwichtige Handgriffe.

Täglich muß mittels des kleinen Hahns das der Luft entzogene Wasser abgelassen werden, und zwar geschieht das am besten am Morgen, da während der Nacht das Eis, das sich bei laufendem Gerät bildet, abtaut. Die anfallende Wassermenge ist abhängig einerseits von der täglichen Betriebsdauer des Nondolors, anderseits vom Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft.

Wöchentlich soll das Filter gründlich gereinigt werden. Zu diesem Zweck werden die zwei Klammern zu beiden Seiten des Filterstutzens gelöst; das Labyrinth-Filterpack wird herausgenommen und in einem Waschmittel (z. B. «Expreß») gründlich ausgewaschen. Dann wird es mit einem Desinfektionsmittel benetzt und zum Trocknen auf zwei Holzstäbchen gelegt. Das Filter wird wieder zusammengesetzt und verschlossen. Bei der neuesten Ausführung des Gerätes ist keine Wartung des Filters notwendig. Als Hauptfilter wird dabei an Stelle des Trockenschichteinsatzes eine plane Glasinterplatte von einer mittleren Porenweite von 15–40 μ verwendet.

Eine *monatlich* auszuführende Kontrolle gilt insbesondere dem Motor. Dabei ist die Spannung der Keilriemen zu prüfen und nötigenfalls nachzustellen. Als zweites soll der Wasserablaßhahn bei laufendem Apparat geöffnet werden, damit alles Wasser aus dem Verdampfer herausgeblasen wird.

Jährlich zweimal sind die Motorlager zu ölen, ist die Anlage zu entstauben, der Ölstand des Kompressors zu prüfen und, wenn nötig, zu ergänzen. Gleichzeitig ist der Trockenschicht-Filtereinsatz zu entfernen und durch einen neuen zu ersetzen.

Die Kälteanlage wird mit Vorteil *einmal pro Jahr* einem Kältefachmann zur Kontrolle übergeben.

Die Applizierdüsen sind am besten sofort nach Gebrauch von Bohrstaub, Speichel und so weiter zu reinigen und lassen sich in Gaze eingewickelt ohne Bruchgefahr sehr gut durch Auskochen sterilisieren.

Abgesehen von dieser normalen Pflege des Nondolors kann auch der Heizwiderstand im Pistolenschaft oder das Thermometer ein-

mal ausgewechselt werden müssen. Für die Ausführung dieser Arbeiten verweise ich auf die entsprechenden Anweisungen der Herstellerfirma.

Aus dem Gesagten geht deutlich hervor, daß die periodisch vorzunehmenden Kontrollen nur sehr wenig Zeit in Anspruch nehmen und auch von der Gehilfin ohne weiteres ausgeführt werden können.

IV. Eigene Untersuchungen

1. Handhabung des Apparates

a) *Vorbereitungsphase*: Ein paar Minuten vor Beginn der Applikation am Patienten wird der Nondolor aus Stromnetz angeschlossen, der Motor und damit die ganze Anlage durch Einschalten des Hauptschalters in Betrieb gesetzt und kurze Zeit anlaufen gelassen, bis die Temperatur des ausgeblasenen Luftstromes auf etwa -1°C gesunken ist. Diese je nach der Außentemperatur bis 5 Minuten beanspruchende Anlaufperiode, während der das Thermometer auf den genannten tiefen Wert absinkt, gestattet uns in der Folge nämlich, die Arbeitstemperatur von $+4$ bis $+1^{\circ}\text{C}$ bedeutend rascher zu erreichen, sofern eine etwas schnellere Abkühlung vom Patienten ohne unangenehme Empfindungen ertragen wird. Für diesen Temperaturfall sofort nach Inbetriebnahme des Gerätes hat sich folgende Kurve ergeben:

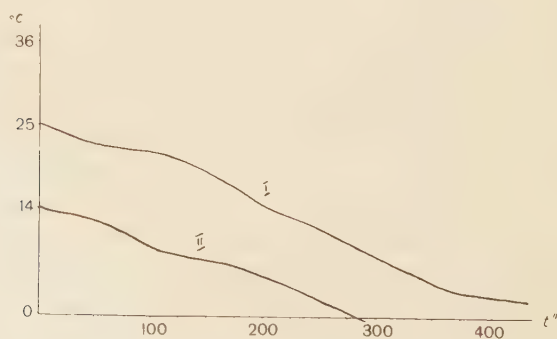


Abb. 3

Raumtemperatur: I = $+25^{\circ}\text{C}$, II = $+14^{\circ}\text{C}$

Wenn die Anlage bereits nach einer nur kurzen Betriebspause erneut verwendet wird, zeigt die Temperaturfallkurve folgenden Verlauf:

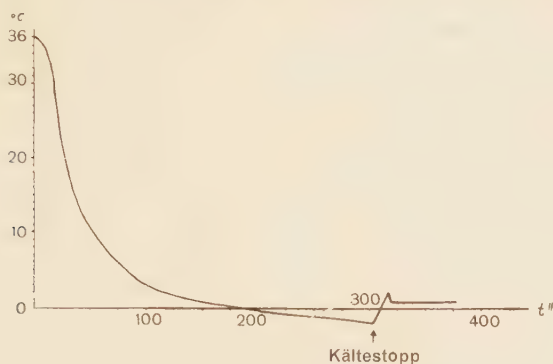


Abb. 4
Raumtemperatur: $+22^{\circ}\text{C}$

Aus diesen Kurvenbildern können wir folgende Schlüsse ziehen: Die Fallgeschwindigkeit der Temperatur des Luftstromes und damit die Zeit, die der Apparat braucht, bis er betriebsbereit ist, hängt ab

- (a) von der Höhe der Zimmertemperatur und
- (b) von der Dauer der vorangegangenen Betriebspause.

Es ist aus diesem Grunde – speziell an warmen Tagen – vorteilhaft, das Gerät auch nach einem nur kurzen Arbeitsunterbruch vor erneuter Verwendung wenige Minuten anlaufen zu lassen, bis das Thermometer auf etwa 0° abgesunken ist.

Nach dem Fixieren der für den betreffenden Fall am geeignetsten erscheinenden Glasdüse in der Gummifassung der Pistole kann die Heizung durch Eindrücken des Knopfschalters eingeschaltet werden. Um die benötigte Anfangstemperatur von etwa 35°C (bei sehr empfindlichen Patienten eventuell höher! Vorsicht vor Überhitzung!) möglichst schnell zu erreichen, wird der Knopf ganz eingedrückt, wodurch der Heizspule 14 V, 5,5 A, zugeführt werden. Eine weitere Möglichkeit, die Erwärmung zu beschleunigen, besteht darin, daß man gleichzeitig die Luft drosselt, denn es ist einleuchtend, daß bei gleicher Heizkraft eine kleinere Luftmenge pro Zeiteinheit (20 l/min) schneller auf eine höhere Temperatur gebracht wird als eine große (80 l/min). Als Durchschnittswerte habe ich gefunden:

Tabelle 1

	1-4° C	4-35° C	
bei 20 l/min bei 80 l/min	3 Sekunden 3 ½ Sekunden	27 Sekunden 60 Sekunden u. m.	Heizen von +1 bis +35° C bei einer Raumtemperatur von 21° C

Damit ist der Apparat am Patienten verwendungsbereit. Um im Munde allzugroßen Kälteverlust infolge Ableitung durch anliegende Wangen-, Lippen- oder Zungenteile oder durch Speichel von Anfang an vorzubeugen, ist es notwendig, das Arbeitsfeld mittels Watterollen und Speichelzieher relativ trocken zu legen. Die Verwendung von Kofferdam zur Erreichung absoluter Trockenheit erübrigt sich in den allermeisten Fällen; zu empfehlen ist sie jedoch bei abnorm starkem Speichelfluß, besonders wenn im Unterkiefer gearbeitet werden muß.

Nach der nötigen kurzen Instruktion des Patienten kann mit der Applikation begonnen werden.

b) Phase des Einschleichens

Man richtet das freie Ende der Glasdüse auf den zu präparierenden Zahn, und zwar zu Beginn möglichst auf seinen Wurzelbereich, wobei man den Heizknopf losläßt, die Luftklappe aber noch gedrosselt hält. Gleichzeitig mit der allmählichen Progression der Temperatursenkung, die gleichförmig zu erfolgen hat, bewegt man das Düsenende – immer in einem Abstand von 1–5 mm von der Gingiva beziehungsweise dem Zahn – zervikalwärts, bis man schließlich den Luftstrahl direkt auf die Zahnkrone oder, wo dies für den Patienten erträglich ist, sogar in die Kavität selbst richten kann. Bei sehr sensiblen Patienten ist das erst nach sehr vorsichtigem Einschleichen und etwas länger dauernder Kühlung, bei weniger empfindlichen Individuen schon nach kurzer Zeit möglich. Man läßt die Temperatur fallen bis auf + 4° C und schließlich bis + 1° C. Wenn oben gesagt wurde, daß das Einschleichen mit gedrosselter Luft zu erfolgen habe, so gilt das nicht in allen Fällen, denn wenn es für den Patienten ohne unangenehme Sensationen erträglich ist, kann auch mit Vollluft eingeschlichen werden.

Ich habe auch in dieser Hinsicht vergleichende Messungen angestellt und dabei folgende Zeitmittel gefunden:

Theoretische Werte für die Abkühlungszeit bei verschiedenen Außentemperaturen:

Tabelle 2

I. Außentemperatur: 11° C		
	Meßwert nach 4 Minuten Anlaufzeit	
	35–4° C	4–1° C
bei 80 l min	75 Sekunden	65 Sekunden
bei 20 l min	540 Sekunden bis +8° C!	
	Meßwert nach 1 Stunde Laufzeit	
	35–4° C	4–1° C
bei 80 l min	60 Sekunden	35 Sekunden
bei 20 l min	360 Sekunden bis +8° C!	
II. Außentemperatur: 22° C		
	Meßwert nach 4 Minuten Anlaufzeit	
	35–4° C	4–1° C
bei 80 l min	80 Sekunden	75 Sekunden
bei 20 l min	600 Sekunden bis +8° C!	
	Meßwert nach 1 Stunde Laufzeit	
	35–4° C	4–1° C
bei 80 l min	65 Sekunden	40 Sekunden
bei 20 l min	390 Sekunden bis +8° C!	

Daraus ist ersichtlich, daß das Einschleichen mit gedrosselter Luft infolge langsameren Temperaturfalles erheblich mehr Zeit in Anspruch nimmt als dasjenige mit Vollluft. Zeigt der Patient keine besondere Kälteempfindlichkeit, so wird langsam auch die Klappe ganz geöffnet. Macht sich bei der nun stark vergrößerten Temperaturfallgeschwindigkeit doch eine gewisse Empfindlichkeit, die der Patient durch Stirnrunzeln und Zucken der Augenlider kundgibt, bemerkbar, werden sofort sowohl Heizknopf als auch Luftdrossel eingedrückt, was zu einer plötzlichen leichten Erwärmung des Luftstromes und zu gleichzeitigem Verschwinden der Empfindung führt, noch bevor der Patient ein weiteres Zeichen geben kann. Anstatt durch Drosseln der Luft läßt sich die Temperaturfallgeschwindigkeit

auch dadurch vermindern, daß der Heizknopf nach dem Aufheizen nicht ganz losgelassen wird, sondern leicht unter Druck bleibt, wodurch der Heizspule immer noch 14 V, 2,7 A, abgegeben werden. Es sind somit drei Schaltstellungen des Heizknopfes möglich: ganz eingedrückt = 14 V, 5,5 A, leicht eingedrückt = 14 V, 2,7 A, losgelassen = Heizung ausgeschaltet. (Bei den neuesten Serien sind nur noch die Stellungen 1 und 3 möglich!)

Der Einschleichevorgang benötigt je nach der Empfindlichkeit des betreffenden Patienten und je nach der Dauer, während der das Gerät schon in, beziehungsweise außer Betrieb steht, 1½ bis 3 Minuten; noch langsames Einschleichen war auch bei sehr sensiblen Patienten nicht erforderlich.

c) Arbeitsphase

Sobald die Temperatur von $+4^{\circ}\text{C}$ erreicht ist, wird an der Uhr die Zeit abgelesen, damit eine ungefähre Kontrolle über die jeweilige Applikationsdauer geführt werden kann, und anschließend wird mit dem Bohren beziehungsweise Schleifen begonnen. In den meisten Fällen spürt der Patient bereits bei $+4^{\circ}\text{C}$ keinen Bohrschmerz mehr; besteht indessen auf dieser Temperaturstufe ausnahmsweise noch eine gewisse Sensibilität, so empfiehlt es sich, die kalte Luft während 1–2 Minuten weiter einwirken zu lassen und erst dann mit der Arbeit zu beginnen. Das Thermometer fällt in dieser Zeit um weitere 1–2 Grad. Normalerweise wird eine wirksame Dentinanästhesie mit dem vollen Luftstrom von $+1$ bis $+4^{\circ}\text{C}$ erzielt, bei Frontzähnen schneller als bei Prämolaren und Molaren. Während des Bohrens wird das Ende der Glasdüse in möglichst geringem Abstand (5 mm) von der betreffenden Zahnkrone gehalten oder, nachdem eine gewisse Unempfindlichkeit bereits eingetreten ist, der Luftstrom direkt in die Kavität gerichtet. Dabei muß sorgsam darauf geachtet werden, daß die Glasdüse nicht mit Weichteilen in Berührung kommt, da sonst der Luftstrom schon hier leicht erwärmt wird. Auf die Notwendigkeit der Fernhaltung von Speichel vom Objekt wurde oben hingewiesen. Bei der Verwendung von Kofferdam wird wohl die Kälte weniger unangenehm empfunden, dafür ist aber die Anästhesie geringer, indem nur die Zahnkrone, nicht aber der Wurzelbereich und der betreffende Kieferbezirk gekühlt werden. Die Bohrer dürfen nicht heißlaufen, da die dabei ge-

bildete Wärme der Kälte direkt entgegenwirkt. - Um die Temperatur am Sinken auf 0° oder auf noch tiefere Werte zu verhindern, wird, sobald sich die Alkoholsäule des Thermometers der $+1^{\circ}\text{C}$ -Marke nähert, der Kältestoppschalter eingedrückt, wodurch die Temperatur auf etwa $+1^{\circ}\text{C}$ konstant gehalten wird.

Bei richtiger Handhabung der Kaltluft ist dieser Kältegrad meist vollkommen ausreichend für völlige Unempfindlichkeit gegenüber dem mechanischen Reiz des Bohrens, weshalb tiefere Temperaturen (bis -4°C) nur in Ausnahmefällen angewandt werden müssen (bei Kälteableitung usw.). Inwieweit durch derart tiefe Temperaturen die Zahnpulpa irritiert oder geschädigt wird, kommt weiter unten zur Sprache.

Sobald die Kavität fertig präpariert ist, kann der Luftstrom weggenommen und die Applikation abgebrochen werden. Sind dagegen mehrere Zähne in der gleichen Sitzung zu behandeln, kann die Glasdüse von einem Zahn zum nächsten geführt werden, ohne daß erneut eingeschlichen werden muß. Ob bei längerer Unterkühlung Gewebsschädigungen zu befürchten sind, wird später besprochen werden. - Ein Ausschleichen, das heißt eine allmähliche Wiederaufwärmung der gekühlten Kiefergebiete und Zähne auf Körpertemperatur, hat sich im allgemeinen nicht als notwendig erwiesen. Es empfiehlt sich jedoch, die Kavität nach beendeter Kaltluftbehandlung mit lauwarmem Wasser auszuspritzen oder den Patienten spülen zu lassen, wodurch einerseits die normale Sensibilität des Zahnes zurückgebracht, anderseits die abnorm ausgetrocknete Kavität wieder unter physiologische Bedingungen gestellt wird. *Riethe*⁸⁸ empfiehlt nach beendetem Schleif- oder Bohrprozeß Spülen mit warmem Wasser oder kurzes Aufheizen des Luftstromes; *Driak*¹⁸ heizt bei empfindlichen Patienten abschließend den Sauerstoffstrom des Gazotherme, ist aber der Ansicht, daß diese Phase in der Regel überflüssig sei, da die Blutzirkulation die normale Temperatur von selbst wiederherstelle.

2. Beobachtungen bei der Applikation am Patienten

Das Nondolor-Gerät stand mir während einiger Monate an unserer Klinik zur Verfügung, und ich habe in dieser Zeit eine größere Anzahl Dantinanästhesien damit durchgeführt. Neben den Resultaten, die dabei erreicht wurden und die weiter unten Erwähnung finden,

sind verschiedene Beobachtungen, die während der Applikation des Kaltluftstromes am Patienten gemacht wurden, von Interesse.

Unter anderem wurde auf die besondere Bedeutung der Anlaufperiode der Apparatur – denn erst nach einer Kühlung der Anlage auf etwa $+4^{\circ}\text{C}$ ist das Gerät meiner Ansicht nach arbeitsbereit – aufmerksam gemacht und gleichzeitig darauf hingewiesen, daß diese in ihrer Dauer abhängig sei

- a) von der Temperatur der angesaugten Raumluft und
- b) von der Länge der vorausgegangenen Arbeitspause.

Wenn behauptet wird, diese Vorbereitungsphase sei nur vor der ersten Applikation, das heißt nur einmal täglich, zu durchlaufen, so kann ich diese Ansicht nicht teilen, da es sich gezeigt hat, daß bereits nach einem kürzeren Arbeitsunterbruch von 15–30 Minuten die Abkühlungsgeschwindigkeit beträchtlich vermindert ist. Das ist jedoch gleichbedeutend mit einer entsprechenden Verlängerung der Einschleichzeit, die nicht erwünscht ist. Diesbezügliche Kontrollen haben folgende Zahlen geliefert:

Tabelle 3

Anlaufzeit vor der ersten Applikation von Zimmertemperatur 19° bis auf $+4^{\circ}\text{C}$:
5–5 $\frac{1}{2}$ Minuten

nach einer Arbeitspause von	Anlaufzeit	Raumtemperatur
180 Minuten	3 Minuten	20°C
60 Minuten	3 Minuten 5 Sekunden	22°C
30 Minuten	3 Minuten 15 Sekunden	22°C
20 Minuten	2 Minuten 45 Sekunden	20°C
15 Minuten	2 Minuten 15 Sekunden	22°C
10 Minuten	1 Minute 10 Sekunden	20°C
5 Minuten	1 Minute 5 Sekunden	19°C

Der Einfluß der Raumlufttemperatur auf die zeitliche Ausdehnung der Vorbereitungsphase ist aus folgenden Meßwerten zu erkennen:

Tabelle 4

Anlaufzeit nach konstanten Arbeitspausen von 10 Minuten

bei 10°C	1 Minute 45 Sekunden
bei 18°C	2 Minuten
bei 25°C	2 Minuten 50 Sekunden

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Die Anlaufzeit ist desto länger, je ausgedehnter die vorausgegangene Arbeitspause und je höher die Temperatur der zu fördernden Raumluft ist.

Das Aufheizen des Luftstromes, das – wie die Applikation überhaupt – von der Assistenz ausgeführt wird und die zweite Phase (Einschleichen) einleitet, soll immer bei gedrosselter Luft vorgenommen werden, da auf diese Weise die oberste rote Thermometermarke erheblich rascher erreicht wird als bei Volluft, bei der – wie oben ausgeführt – die Temperatur eventuell gar nicht auf 35° C gesteigert werden kann.

Als Durchschnittswert hat sich eine Zeitspanne von etwa 30 Sekunden ergeben.

Die Heizanlage ist im übrigen ziemlich empfindlich auf eine möglicherweise vorhandene Unterspannung, was sich in plötzlichem Temperaturfall trotz völlig eingedrücktem Heizknopf oder durch gänzliche Unmöglichkeit der Heizung bemerkbar macht. Bei unserem Gerät sind überdies wiederholt Brüche im Stromkabel Kasten-Pistole vorgekommen.

Während der Heizperiode wird das notwendige Instrumentarium bereitgelegt, nachdem der Patient über den Zweck der Kaltluft aufgeklärt worden ist. Man hüte sich aber davor, völlige Schmerzfreiheit in Aussicht zu stellen, damit die Patienten (besonders Kinder) bei eventuell doch auftretenden, geringen Empfindungen nicht das Vertrauen verlieren. Ein Austrocknen der Mundhöhle mittels des geheizten Luftstromes, wie dies *Kluczka*⁵³ zur Verhütung von Eiskristallbildung empfohlen hat, erübrigt sich. Ich habe in keinem Fall Eisbildung beobachten können.

Die Abkühlung der Luft, das heißt das Einschleichen, erfolgt durch möglichst konstant fortschreitende Temperatursenkung, was nach einer in sehr vielen Fällen konstatierten Anfangsempfindlichkeit über verschiedene, besondere empfindliche Temperaturstufen erfolgt. Die Absätze liegen in Abständen von einigen Graden, je nach der Sensibilität des Patienten. Diejenigen bei etwa 22°, 12° und 8° C scheinen besonders schwierig zu überwinden zu sein, da unangenehme Sensationen hier gehäuft festzustellen sind. Ähnliches wurde auch von *Delibéros*¹⁴ beobachtet. Durch periodisches Aufheizen während eines Sekundenbruchteiles können sie jedoch in

der Mehrzahl der Fälle schmerzlos passiert werden. Der Einschleichenvorgang benötigt am Patienten unter Einbeziehung eventueller, kurzer Wärmestöße durchschnittlich 2–3 Minuten, kann sich bei sehr sensiblen Patienten auf 4 Minuten steigern oder sich bei geringer Empfindlichkeit auf 1–2 Minuten reduzieren. Nach *Riethe*⁹⁰, *Delibéros*¹⁴ beansprucht diese Phase nur etwa 1 1/2 Minuten oder noch weniger.

Von den 51 behandelten Patienten registrierten 27 überhaupt keine unangenehmen Empfindungen während des Einschleichens; 16 fanden die Abkühlung unangenehm, aber noch gut erträglich, und für 8 war die Temperatursenkung schmerzhaft. Die Wirkung muß also im allgemeinen nicht mit einem vorangehenden Schmerz erkaufte werden, wie dies von anderer Seite den Kälteanästhesiegeräten vorgeworfen wurde, und die Bezeichnung als Anaesthesia dolorosa ist keinesfalls gerechtfertigt.

Bei empfindlichen Patienten, die infolge Kühlung der ganzen Mundhöhle oft selbst an weit vom Applikationsort entfernten Zähnen mit großen Metallfüllungen oder tiefen, kariösen Defekten Schmerzen angaben, ließ sich die Anästhesie schmerzlos herbeiführen, sobald die empfindlichen Bezirke mit Wachs verkleidet waren. Analog kann auch bei sehr großer Empfindlichkeit der zu anästhesierenden Zähne selbst verfahren werden, indem zum Beispiel freiliegende Zahnhälse oder tiefe, kariöse Höhlen mit Wachs, Guttapercha, Zinkoxyd-Eugenol usw. abgedeckt werden, wie das auch von *Riethe*⁸⁸, *Schmid*⁹⁶ empfohlen wurde, und die Kühlung von der gesunden Seite her erfolgt.

Unangenehme Empfindungen infolge Austrocknung und Unterkühlung von Mundhöhle und Rachen treten im allgemeinen nicht auf. Nur in einem Fall hat der Patient über Hustenreiz als Folge abnormer Trockenheit der Rachenschleimhaut geklagt, und vereinzelt traten sowohl Kälte als auch Austrocknung unangenehm in Erscheinung, teils in der ganzen Mundhöhle, teils beschränkt auf den betreffenden Kieferbezirk oder die Zunge. Am Applikationsort selbst liegt die Gingiva bereits nach kurzer Zeit trocken und wird nach längerer Einwirkung der Kaltluft leicht anämisch.

Was die Anwendung des Gerätes bei der Behandlung der verschiedenen Zahngruppen betrifft, so kann gesagt werden, daß sie mit einigen Ausnahmen leicht ist. Ohne Schwierigkeiten läßt sich

die Anästhesie durchführen bei den oberen und unteren Frontzähnen und Prämolaren, während sich im Molarenbereich und oft auch bei den zweiten Prämolaren eine Berührung zwischen Glasdüse und Weichteilen nicht völlig vermeiden läßt. Besonders schwierig gestaltet sich die Handhabung bei Applikationen an oberen Molaren, bei deren Präparation mit dem Spiegel gearbeitet werden muß. Diese gleichzeitige Verwendung von Winkelstück, Spiegel und Düse verunmöglicht dem Behandler eine klare Übersicht, weshalb der Kavität die exakte Form nach Abschluß der Applikation gegeben werden soll.

Sobald die Temperatur des Luftstromes auf $+4^{\circ}$ bis $+1^{\circ}$ C gesunken und damit die Phase des Einschleichens abgeschlossen ist, verschwindet die Empfindlichkeit in bezug auf die Kälte bei den meisten Patienten. Immerhin hat eine ganze Reihe die Kälte als unangenehm empfunden: 14 von 51 Patienten gaben mehr oder weniger starke Schmerzhaftigkeit an der Applikationsstelle oder in deren Umgebung an, wobei diese in 5 Fällen auf tiefe Karies beziehungsweise große Amalgamfüllungen an Nachbarzähnen zurückzuführen war. Diese Kälteempfindlichkeit verschwand während der ganzen Dauer der Applikation nicht völlig.

Bei der Anwendung des Nondolors bei Patienten mit geringem Speichelfluß, wo das Arbeitsfeld absolut trocken lag, hat sich in mehreren Fällen der aus der Kavität geblasene Bohrstaub recht unangenehm bemerkbar gemacht. Wohl bleibt die Kavität während der Präparation dauernd frei von Bohrspänen und damit übersichtlich; auf der anderen Seite aber wird der Staub in der Mundhöhle umhergeblasen und zum Teil vom Patienten eingeatmet; zum Teil werden die Späne aus der Mundhöhle herausgeschleudert, was in vielen Fällen das Tragen eines Augenschutzes empfehlenswert macht. Gleichzeitig wird bei Patienten mit reichlichem Speichelfluß, besonders beim Arbeiten im Unterkiefer, Speichel und eventuell aus verletzter Gingiva austretendes Blut aus der Mundhöhle geschleudert. In diesem Zusammenhang stellt sich einerseits die Frage, ob durch die angesaugte Luft pathogene Keime in die Mundhöhle des Patienten gebracht werden, andererseits, ob zurückprallende Keime aus der Mundhöhle den Zahnarzt gefährden.

Albrecht, Riethe und *von Wasielewski*² haben Untersuchungen über die Infektionsgefahr bei der Anwendung des Nondolor-Gerätes

angestellt. Wie oben beschrieben, muß die Luft zuerst ein Filtersystem passieren, wo sie von allen korpuskulären Teilen, besonders von Staub und Mikroorganismen, befreit wird. Die Untersuchungen wurden an einem Gerät vorgenommen, dessen Filter aus dem Vorfilter und einer Glassinterplatte mit einer mittleren Porenweite von $15\text{--}40\ \mu$ besteht. Das Vorfilter hat dabei die Aufgabe, Staub und so weiter abzufangen, um Verstopfungen der Glassinterplatte zu verhindern. Die von den genannten Autoren gefundenen Werte bestätigen die Resultate von *Hettche* und *Schwab* (zit. nach *Albrecht*, ...²), die festgestellt haben, daß nicht alle Keime im Filter G 3 (Porenweite $15\text{--}40\ \mu$) abgefangen werden. Bei relativ langsamem Durchströmen einer größeren Luftmenge geht immer eine gleiche Anzahl von Keimen pro Zeiteinheit durch das Filter. Mit zunehmender Befeuchtung der gesinterten Glasplatte jedoch treten Mikroorganismen in vermehrter Zahl durch die relativ groben Poren. Bei diesen Versuchen wurde der Luftstrom gegen eine sterile Kulturplatte (gewöhnlicher Nähragar – 5%, Blutagar) in einem Abstand von etwa 0,5 cm vom Düsenende gerichtet. Da die Geschwindigkeit des Luftstromes mit der Verkleinerung des Düsenquerschnittes und der Steigerung der pro Zeiteinheit geförderten Luftmenge zunimmt, werden bei einer Luftleistung des Gerätes von 60 l/min, was einer Geschwindigkeit von etwa 20 m/sec entspricht, die durchgelassenen Partikel mit voller Wucht auf die Agarplatten geschleudert. Diese wurden dauernd gedreht und während 24 Stunden bei 37° C bebrütet. Dabei konnte festgestellt werden, daß etwa 1–2% der Luftkeime das Filter passierten, und zwar handelte es sich meist um apathogene und harmlose Arten: Kokken (*Staphylococcus albus*, *Sarcina lutea*), apathogene Sporenbildner, selten Schimmelpilze und Hefen. Die aus der Mundhöhle zurückprallende Luft erwies sich als relativ keimarm, unter Berücksichtigung starker individueller Schwankungen. Gefunden wurden die oben erwähnten Keime, und in fast allen Fällen waren vergrünende Streptokokken vom Typ des *Streptococcus salivarius* vorhanden, der regelmäßig in der Mundhöhle vorkommt. – Die gefundenen Keime scheinen also größtenteils von der Mundschleimhaut losgerissen worden zu sein, und ihre Menge ist bemerkenswert gering. *Albrecht*, *Riethe* und *von Wasielewski*² kommen deshalb zum Schluß, daß für den Patienten wie für den Zahnarzt praktisch keine Gefährdung besteht.

Als Bohrtechnik empfiehlt sich auch bei der Verwendung des Nondolor-Gerätes das tupfende, kommaförmige Bohren, da auf diese Weise am wenigsten Reibungswärme, die der anästhesierenden Kälte direkt entgegenwirkt, entsteht. Man darf sich also durch die Unempfindlichkeit des Zahnes nicht dazu verleiten lassen, die Bohrmaschine auf Hochtouren laufen zu lassen, da in die-em Fall keine wirksame Anästhesie erreicht werden kann. Das hat sich bei einem Versuch eindrücklich gezeigt: Es wurde während einiger Sekunden mit hoher Tourenzahl unter leichtem Druck präpariert. Das führte zu einer erheblichen Wärmebildung, ohne daß der Patient jedoch Schmerzen empfand. Beim plötzlichen Absetzen des Bohrers strömte die Kaltluft von etwa -3°C auf die erwärmte Hartschubstanz. Diese Abkühlung empfand der Patient als sehr schmerzhaft. — Zur Verwendung kommen die üblichen Formen der Bohrer, Steinchen und Diamantschleifsteine.

Die erzielte Anästhesie hat sich auch zum Beschleifen periodontischer Zähne als ausreichend tief erwiesen, während in allen Fällen, wo infolge von tiefgreifender kariöser Zerstörung des Zahnes eine Verletzung der Pulpa unvermeidlich war, deren Ritzung als leichter, stechender Schmerz empfunden wurde.

Wo in der gleichen Sitzung mehrere Zähne behandelt wurden, habe ich die interessante Feststellung machen können, daß ein Übergehen von einem Zahn zum anderen schmerzlos durchgeführt werden kann, auch wenn es sich um Zähne in ganz verschiedenen Kieferteilen handelt. So war zum Beispiel in sehr vielen Fällen ein schmerzloser Übergang von links nach rechts oder vom Unterkiefer zum Oberkiefer möglich. Diese Tatsache ist wohl auf die Unterkühlung der gesamten Mundhöhle und damit sämtlicher Zähne in gewissem Grade zurückzuführen.

Ein Ausschleichen nach Abschluß der Applikation habe ich im Gegensatz zu *Riethe*²⁸ in der Mehrzahl der Fälle nicht für nötig gefunden. Von den 51 behandelten Patienten beobachteten 43 keine unangenehmen Sensationen beim anschließenden Spülen mit lauwarmem Wasser, während einzelne wohl den Übergang von der Unterkühlung auf Körpertemperatur ohne Schmerzen, das Spülen mit warmem Wasser aber als unangenehm empfanden. Ein Patient gab beim plötzlichen Auftauen im ersten Moment ein leichtes Schmerzgefühl an, 5 stellten ein während mehrerer Minuten an-

dauerndes Kältegefühl im Bereich der Applikation fest, und 2 klagten über eine während einiger Stunden anhaltende Kälteempfindung. Andere Folgen wurden klinisch nicht beobachtet, weder kurze Zeit nach der Anwendung der Kälteanästhesie noch bei einer Kontrolle nach mehreren Wochen.

Nach Abschluß der Unterkühlung mit dem Luftstrom bleibt die Unempfindlichkeit nur während sehr kurzer Zeit (einige Sekunden bis eine halbe Minute) bestehen, da durch die Blutzirkulation sowie eine leichte kompensatorische Hyperämie die Gewebe sehr rasch wieder auf Körpertemperatur erwärmt werden. Ein wirklich schmerzloses Bohren ist also nur so lange möglich, als das Arbeitsfeld unter dem direkten Einfluß der Kaltluft steht. – An der Realisierbarkeit der Ansicht *Overdieks*⁷⁴, der die Bedienung der Pistole dem Patienten oder dem Zahnarzt selbst zumutet, zweifle ich sehr.

Das Urteil der mit dem Nondolor-Gerät behandelten Patienten ist – unter steter Berücksichtigung des Temperaments und des Charakters – nicht sehr unterschiedlich ausgefallen.

Spontane Begeisterung zeigten 12 von den 51 Patienten, eindeutige Ablehnung 6. Alle übrigen erklärten sich auf Befragung hin als ziemlich oder sehr befriedigt. Ich habe es als aufschlußreich erachtet, die Patienten in drei Gruppen verschieden starker Sensibilität einzuteilen und ihr Urteil in dieser Hinsicht auszuwerten.

Tabelle 5

Urteil	+++	++	–
(a) wenig empfindliche	2	5	–
(b) mittelmäßig empfindliche	4	13	1
(c) überempfindliche, nervöse	7	14	5

Daraus geht hervor, daß sich die Kaltluftanästhesie besonders bei normal- und hypersensiblen Patienten mit guten Erfolgsaussichten anwenden läßt.

Die beim Einschleichen oder während der Applikation der kalten Luft von etwa $+1^{\circ}\text{C}$ in vielen Fällen aufgetretenen, unangenehmen Sensationen wurden von den meisten Patienten den durch den Bohr-

akt hervorgerufenen Schmerzen vorgezogen; nur zwei Patienten empfanden beide Erscheinungen als gleich schmerzhaft.

Vergleiche an Patienten, die sowohl mit dem Nondolor als auch mit anderen Geräten behandelt worden sind, ergeben folgendes: Die Kaltluftanästhesie wird durchwegs der Injektionsanästhesie vorgezogen. Nondolor und Dentatron wurden etwa gleich beurteilt. Verschiedene Patienten haben die Lachgasanalgesie der Kaltluft vorgezogen. Der Vergleich mit dem Waropa-Apparat deutet auf bessere Anästhesie beim Nondolor, während das Einschleichen und die Kälte beim Waropa angenehmer seien.

Abschließend möchte ich noch darauf hinweisen, daß natürlich auch das psychologische Moment nicht zu gering eingeschätzt werden darf. Der Patient wartet gespannt auf das, was sich bei Inbetriebnahme der Apparatur abspielen wird; er befaßt sich mit dem Neuen, Unbekannten und wird dadurch vom Bohren an sich abgelenkt.

3. Resultate

a) *Klinische Ergebnisse:*

Ich habe im Verlaufe von etwa drei Monaten an 51 Patienten beiderlei Geschlechts (35 ♀ + 16 ♂) und jeglichen Alters 207 Zähne unter Nondolor-Kaltluftanästhesie behandelt. Die Patienten wurden wahllos aus dem Material der Konservierenden Poliklinik herausgeriffen. Bei sämtlichen Applikationen wurden notiert: die Zahngattung, die Lokalisation der Kavität am Zahn, die mittlere Arbeitstemperatur des Luftstromes, die Dauer der Einwirkung und die Qualität der erzielten Anästhesie.

128 Zähne bei 27 Patienten wurden überdies vor und einige Wochen nach der Behandlung mittels des Induktionsstromes auf ihre Vitalität geprüft.

Die nachfolgende Zusammenstellung enthält neben obigen Daten noch Initialen, Alter und Geschlecht der betreffenden Patienten sowie einen Vermerk über die jeweilige Empfindlichkeit. In der Tabelle sind nicht alle behandelten Patienten aufgeführt!

Tabelle 6

Name	Geschlecht	Alter in Jahren	Sensibilität	Zahn	Kavitäten- lokalisation	Arbeits- temperatur in °C	Zeit in Minuten	Qualität der Anästhesie	Bemerkungen	Empfindlichkeit während des Ein- schleichens bzw. bei Kalt bzw. nach der Applikation
1. Fr.	♀	25	++	3- 4- 5- -3 +3 3+ 2+ -7	c c c c c a c a DO	4-1	2 2 2 2 4 3 1 4	+++ +++ +++ +++ +++ +++ +++ ++		+ - -
2. Ap.	♀	21	+	+3 4- -7	c c DO	4-1 4 4	3 2 2	+++ +++ ++	Pulpa geritzt	+ - -
3. Do.	♂	22	+++	3+ 4- 5- +5	DO MO c c	4	5 4 4 5	++ ++ ++ ++	empfindlicher Nachbarzahn	- + -
4. Nie.	♂	41	+++	-3 -4 3- 4-	c c c c	4	1 1 1 1	+++ +++ +++ +++	warmes Wasser schmerzt	+ - -
5. To.	♀	20	+++	+3 +2 +1 1+ 2+ 3+ 4+ +4 +5 7-	a a a a a DO MO DO MOD c	4-1	2 4 2 2 3 3 3 2 3 3	+++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ +++ ++	nach Stunden Nachschmerz	+ - +
6. Ge.	♀	27	+++	+2 +3	c c	4-1 4	2 1	++ +++		- - -
7. Ze.	♀	44	+++	+3 +2 2+ 3+ 3- -3	c c c c c c	4-1 1 4-1	1 1 1 2 2 3	++ ++ ++ ++ ± ±		- + -
8. Hu.	♂	27	+++	4+	DO	1	9	+++		- - -
9. Schn.	♀	40	+++	+4	z	1	3	++	Periodontitis	- - -
10. Hi.	♂	25	+++	+3 +2 +1 1+ 2+	a a a a a	4-2	2 3 1 1 2	+++ +++ +++ +++ +++		+ - -

Tabelle 6 (Fortsetzung)

Name	Geschlecht	Alter in Jahren	Sensibilität	Zahn	Kavitäten- lokalisation	Arbeits- temperatur in °C	Zeit in Minuten	Qualität der Anästhesie	Bemerkungen	Empfindlichkeit während des Ein- schleichens bzw. bei Kalt bzw. nach der Applikation
11 Ca.	♀	46	+++	4 3 3	c c c	4-0	2 2 2	+++ +++ +++	Kältegefühl für Stunden	+
12. Nie.	♀	36	+	3 5-	c c	4-0	2 2	+++ ++	Schmerz an Nachbarzähnen	
13. Ny.	♀	20	+++	-2 -3 -2-	a a a	4-1	2 2 2	++ + +		
14 Mü.	♀	28	+	-3 -2	c c	4-2	1 1	++ ++		
15 Schr	♀	18	+++	-1 -1	a a	4-1	1 1	+++ +++		
16. Be.	♀	21	+++	4 5 5- -8 7	c c MOD z c	4-1 4-0 0	1 1 4 3 2	+++ +++ +++ +++ ++	Pulpa geritzt	
17. Riz.	♂	32	+++	-4	c	4-1	1	++	Kältegefühl für 2-3 Minut.	
18. Ki	♀	32	++	-2 -3 -3- 4- 2 3 3- 4- 5 6	c c c c c c c c c c	4-0	1 1 2 2 2 2 1 2 2 3	+ ++ +++ +++ +++ ++ ++ ++ ++ ++		
19. Schä.	♀	22	++	-1 -1 -2 -3 -4	a a a c c	4-0 4-2	1 3 2 2 3	++ ++ + ++ +++	Trockenheit im Hals	
20. Ca.	♀	30	+++	-3 +2 +1 1- 2+ 6 6+ 7-	c c c c c z z z	4-0	1 2 2 2 2 3 3 3	++ ++ ++ ++ ++ +++ +++ ++	Nachschmerz für 2-3 Minuten	

Tabelle 7

Name	Zahn	Vitalitätsprüfung				Kontrolle nach x Wochen
		vor der Applikation	Datum	nach der Applikation	Datum	
1. Fr.	3-	5,8	16. 7. 53	5,6	30. 11. 53	19
	4-	6,2		6,3		
	5-	6,5		6,4		
	-3	5,0		5,1		
	+3	5,6		5,6		
	3+	4,9		5,0		
	2+	6,1		5,9		
	-7	5,6		5,5		
2. Do.	3+	5,7	18. 7. 53	5,5	30. 11. 53	19
	4-	6,7		7,0		
	5-	7,0		8,0		
	+5	6,5		6,3		
3. Nie.	-3	5,9	20. 7. 53	6,1	30. 11. 53	18
	-4	6,0		6,4		
	3-	6,8	22. 7. 53	6,3		
	4-	7,0		6,6		
4. To.	+3	5,8	23. 7. 53	6,0	25. 11. 53	18
	+2	6,0		6,3		
	+1	5,9		5,9		
	1+	7,0	28. 7. 53	6,6		
	2+	6,5		6,3		
	3+	6,2		6,0		
5. Ge.	+2	5,5	24. 7. 53	5,4	14. 11. 53	16
	+3	5,1		5,3		
6. Ze.	+3	6,8	28. 7. 53	6,3	19. 11. 53	17
	+2	7,2		6,6		
	2+	6,8		6,7		
	3+	6,2	3. 3. 53	5,2		
	3-	7,0		5,0		
	-3	7,0		6,1		
7. Nie.	3-	6,8	31. 7. 53	6,9	21. 11. 53	16
	5-	7,0		6,8		
8. Mü.	+3	7,2	6. 8. 53	7,0	4. 12. 53	17
	+2	7,4		7,6		
9. Be.	-4	6,6	1. 9. 53	6,5	4. 12. 53	14
	-5	8,0		7,0		
	5+	6,5	8. 9. 53	6,3		
	+8	6,4		6,2		
	7-	6,0	17. 9. 53	6,2		
	+2	6,8	3. 9. 53	7,0	20. 11. 53	11
10. Ki.	+3	6,7		6,6		
	3+	6,4	4. 9. 53	6,2		11
	4+	7,0		7,3		
	-2	7,3		7,7		
	-3	6,8		6,3		
	3-	7,2		7,4		
	4-	7,4	9. 9. 53	7,6		10
	5-	7,1		7,0		
	6-	6,9		6,6		

Tabelle 7 (Fortsetzung)

Name	Zahn	Vitalitätsprüfung				Kontrolle nach x Wochen
		vor der Applikation	Datum	nach der Applikation	Datum	
11. Mo.	-4	5,5	8. 9. 53	5,2	28. 12. 53	16
	-5	7,7		7,4		
12. Ot.	-2	7,5	9. 9. 53	7,6	4. 12. 53	11
	-3	7,4		7,7		
	3-	7,2		6,9		
13. Zo.	-4	6,1	14. 9. 53	7,1	4. 12. 53	12
	-5	6,2		6,5		
	4-	6,3	16. 9. 53	6,5		12
	5-	6,5		7,3		
	3+	6,3		6,9		
	+3	7,0		6,4		
	+2	7,0		7,2		
14. Mei.	+3	5,7	18. 9. 53	5,9	11. 12. 53	12
	1+	8,0		7,6		
	2+	7,0		6,8		
	4+	8,2	22. 9. 53	8,0		12
	3-	5,5		6,0		
	2-	7,0		7,0		
15. Fo.	+1	7,7	26. 9. 53	7,8	8. 12. 53	10
	1+	7,1		7,3		
	3+	7,5	5. 10. 53	7,2		9
	3-	6,0		6,2		
16. Har.	-4	6,0	28. 9. 53	6,2	10. 12. 53	11
	-3	6,3		6,1		
	2	6,7		6,5		
	-1	7,0	5. 10. 53	6,8		10
	1-	7,0		6,9		
	2-	7,0		7,2		
17. Ra.	2-	7,2	28. 9. 53	7,4	10. 12. 53	11
	3-	8,0		7,8		
	-2	5,9		6,0		
	-1	6,1		6,2		
	1-	7,6		7,4		
18. We.	5-	7,8	29. 9. 53	7,9	10. 12. 53	11
	6-	7,8		7,6		
	7-	7,6		8,0		
19. Pa.	3-	7,1	27. 10. 53	7,0	10. 12. 53	6
	4-	6,0		6,4		
	-5	7,1		6,8		
20. Ju.	-4	6,0	3. 11. 53	5,8	16. 12. 53	6
	4-	5,9		5,8		

Einige Erklärungen zur obigen Tabelle 6 und zu den folgenden Ausführungen:

(a) Sensibilität: Da sich die Empfindlichkeit eines Menschen nicht in absoluten Werten feststellen läßt, habe ich die Patienten nach ihrer relativen Sensibilität in drei Gruppen eingeteilt:

I wenig empfindliche	= +
II mittelmäßig empfindliche	= ++
III überempfindliche	= +++

(b) Lokalisation der Kavitäten: Bei meinen Untersuchungen wurde die Kaltluftanästhesie vor allem zur Schmerzverminderung bei der bekanntlich sonst sehr schmerzhaften Präparation von Zahnhalskavitäten verwendet. Daneben wurden aber auch proximale Kavitäten an Frontzähnen, okklusale an Molaren, MO-, DO- und MOD-Kavitäten an Prämolaren und Molaren präpariert:

I zervikale	c	129
II proximale	a	53
III MO, DO, MOD		21
IV zentrale	= z	4

(c) Vitalitätsprüfung (Tab. 7): Die Vitalitätsprüfungen wurden vor und einige Wochen nach der Applikation mittels des Induktionsstromes durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die zu kontrollierenden Zähne relativ trocken gelegt und durch Kofferdamstreifen gegen einander isoliert. Als normal sind Werte zwischen 5 und 8 anzusehen, obwohl oft auch bei niedrigeren Zahlen keine Pulpenschäden vorzuliegen brauchen. Individuelle Unterschiede spielen eine bedeutende Rolle.

(c) Anästhesie: Ebenso wenig wie die Empfindlichkeit absolut gemessen werden kann, läßt sich die erzielte Anästhesie in Zahlenwerten feststellen. Deshalb war es auch in dieser Hinsicht nötig, eine relative Auswertung der Ergebnisse vorzunehmen. Ich habe folgende vier Grade erreichter beziehungsweise fehlender Dentinanästhesie gegeneinander abgegrenzt:

- I Sehr gute Anästhesie, das heißt der Patient empfindet beim Bohren absolut keinen Schmerz = +++
- II Gute Anästhesie, das heißt die Empfindlichkeit ist stark vermindert, die Schmerzhaftigkeit der Kavitätenpräparation ist auf ein Minimum herabgesetzt = ++

III Ungenügende Anästhesie, das heißt der Patient stellt eine gewisse, jedoch ungenügende Schmerzreduktion fest = $\pm$

IV Keine Anästhesie, das heißt das rotierende Instrument ruft dieselben Schmerzen hervor, wie es dies ohne Dentinanästhesie tun würde = $-$.

Bei meinen Untersuchungen an kariösen Zähnen mit gesunder Pulpa bin ich zu folgenden *Ergebnissen* gelangt:

Ganz allgemein waren von den 200 berücksichtigten Dentinanästhesien mittels unterkühlter Luft

83 als sehr gut +++ (41,5 %),
 88 als gut ++ (44 %),
 26 als ungenügend $\pm$ (13 %),
 und 3 als schlecht - (1,5 %) zu bewerten

Das heißt mit anderen Worten: 85,5 % fielen positiv und 14,5 % fielen negativ aus.

(*Riethe*⁸⁸ fand 91,1 % positive und 8,9 % negative Resultate, und *Korkhaus*⁵⁷, *Delibéros*¹⁴, *Kluczka*⁵³ und *Overdiek*⁷⁴ berichteten 1952 über 80 % sehr gute und 17 % teilweise Erfolge neben 3 % Versagern.)

Tabelle 8

Anästhesie	Zähne				Patienten reagieren auf Applikation vorwiegend	
	+++	++	$\pm$	-	pos.	neg.
Zahl der Fälle .	83	88	26	3	46	5
in %	41,5	44	13	1,5	90	10

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei Patienten, die die Applikation als unangenehm empfanden, von weiterer Anwendung der Nondolor-Anästhesie Abstand genommen wurde. Das konnte aber möglicherweise dazu führen, daß, rein auf die Zahnzahl bezogen, eine Begünstigung der positiv reagierenden Fälle gegenüber den Versagern, die aus dem eben erwähnten Grunde unterdrückt wurden, stattfand. Ich erachtete es deshalb als notwendig, die Ergebnisse auch auf die Patientenzahl bezogen auszuwerten, und zwar so, daß die vorwiegend positiv reagierenden den vorwiegend negativ reagierenden gegenübergestellt wurden. Dabei hat es sich aber ge-

zeigt, daß der Prozentsatz der positiven Resultate mit 90% sogar noch günstiger ausfällt.

Beim Vergleich der Erfolge der drei hinsichtlich ihrer Sensibilität unterschiedenen Gruppen läßt sich erkennen, daß bei wenig empfindlichen Patienten die Erfolgsquote etwas höher ist als bei mittelmäßig empfindlichen und bei diesen wiederum höher als bei überempfindlichen Individuen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen bei den 26 *sehr empfindlichen* Patienten ergaben folgendes Bild: Es wurden insgesamt 118 Zähne unter Kaltluftanästhesie präpariert. Völlig schmerzlos erfolgte das Ausbohren von 38 Kavitäten (32,2%); gute Anästhesie, aber nicht totale Unempfindlichkeit wurde in 59 Fällen (50%), ungenügende bei 19 Zähnen (16,1%) erreicht, während 2 Applikationen (1,7%) als gänzlich erfolglos abgebrochen wurden.

Zusammengefaßt sind also 97 erfolgreiche Anwendungen 21 Versagern gegenüberzustellen. Das entspricht einem Verhältnis von 82,2% positiven zu 17,8% negativen Resultaten.

Bei 23 Patienten waren vorwiegend positive Ergebnisse zu verzeichnen, während 3 in der Mehrzahl der Fälle negativ auf die Kaltluft reagierten. – Keine Versager wurden bei 69%, keine Erfolge bei 7,5% der Patienten beobachtet.

Aus der Anwendung des Nondolor-Gerätes an 64 Zähnen bei 17 *mittelmäßig empfindlichen* Individuen resultierte folgendes:

In 35 Fällen (54,8%) wurde eine sehr gute Dentinanästhesie erreicht; 21 Applikationen (32,7%) verliefen erfolgreich, aber ohne vollständige Ausschaltung der Dentinsensibilität, während bei 7 Zähnen (10,9%) nur eine ungenügende, bei 1 (1,6%) überhaupt keine Schmerzverminderung beim Bohren festzustellen war.

Somit ergeben sich 56 Erfolge, die 8 Versagern gegenüberstehen; in Prozenten ausgedrückt: 87,5% positive und 12,5% negative Resultate.

Vorwiegend erfolgreich wurde die Dentinanästhesie bei 15 Patienten durchgeführt, zwei empfanden bei der Mehrzahl der behandelten Zähne keine Schmerzverminderung. – 71% der Patienten dieser Gruppe verzeichneten keine Versager, während umgekehrt 6% keine erfolgreichen Anwendungen beobachteten.

Bei 7 *wenig empfindlichen* Patienten wurden insgesamt 18 Zähne behandelt, wobei 10 sehr gute und 8 gute Anästhesien erreicht wur-

den. Ungenügende Unempfindlichkeit und gänzliche Mißerfolge wurden nicht festgestellt. Indessen sind bei dieser Gruppe sowohl die Patienten- wie die Zahnzahl zu klein, um eine statistische Auswertung zuzulassen.

Zu entsprechenden Resultaten gelangte auch *Overdiek*⁷⁴.

Tabelle 9
Erfolgsquoten bei verschiedenen Sensibilitätsgraden

Sensibilität	Anästhesie	Zähne				Patienten reagieren auf Applikationen vorwiegend	
		+++	++	±	—	pos.	neg.
+++	Anzahl	38	59	19	2	23	3
	in %	32,2	50	16,1	1,7	89	11
	Total	97		21			
	in %	82,5		17,8			
++	Anzahl	35	21	7	1	15	2
	in %	54,8	32,7	10,9	1,6	88	12
	Total	56		8			
	in %	87,5		12,5			
—	Anzahl	10	8				

Geschlechtsbedingte Unterschiede in der Erfolgsquote scheinen nicht zu bestehen.

Ebensowenig spielt das Alter des Patienten hinsichtlich der Erfolgsaussichten eine Rolle.

Die 207 Kaltluftanästhesien wurden an folgenden Zähnen durchgeführt:

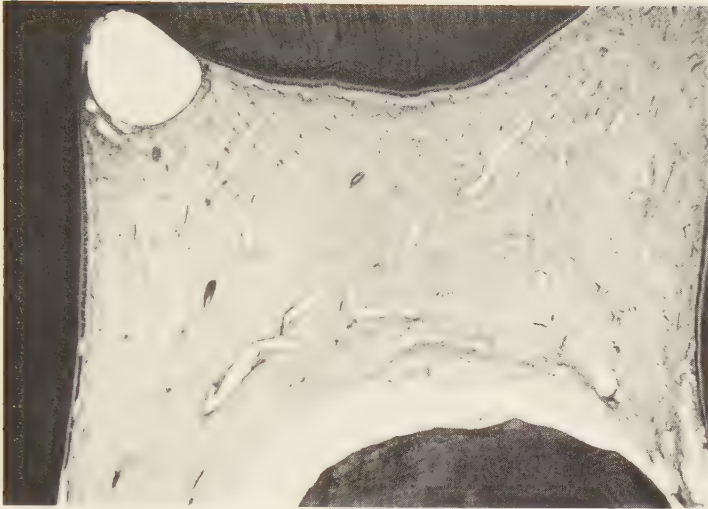
Oberkiefer:	1	2	3	4	5	6	7	8
	21	24	29	10	5	2	2	1
Unterkiefer:	1	2	3	4	5	6	7	8
	7	15	30	25	17	6	10	3

Ich habe also vor allem obere und untere Schneide- und Eckzähne sowie Prämolaren mit dem Nondolor behandelt. Bei Molaren ist die

Anwendung, wie ich bereits weiter oben ausgeführt habe, mit gewissen Schwierigkeiten (schlechte Zugänglichkeit, Unübersichtlichkeit, Kälteableitung durch Weichteile) verbunden.

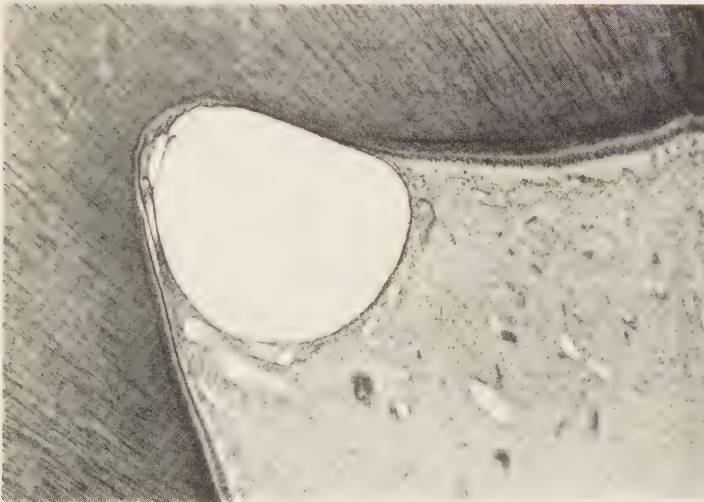
Hinsichtlich der Arbeitstemperatur des Luftstromes habe ich im Gegensatz zu *Riethe*⁸⁸, *Riethe*⁹⁰, *Overdiek*⁷⁴, *Delibéros*¹⁴, die angegeben haben, es sei bei Erreichen der Marke $+4^{\circ}\text{C}$ notwendig, mit dem Beginn der Präparation noch 1–3 Minuten zuzuwarten, gefunden, daß nach erreichter Temperaturstufe von $+4^{\circ}\text{C}$ sofort mit dem Bohren usw. angefangen werden kann. Bei diesem Vorgehen wurden mit Ausnahme der Fälle, die auch bei längerer Applikationsdauer keine vollständige Unempfindlichkeit zustande kommen ließen, keine unangenehmen oder sogar schmerzhaften Sensationen beobachtet. Es ist somit bereits eine Temperatur von $+4^{\circ}\text{C}$ ausreichend, um die Reizschwelle der Schmerzrezeptoren – welcher Art sie nun sein mögen – so stark hinaufzusetzen, daß die beim Bohren entstehenden mechanischen und thermischen Reize nicht mehr wirksam werden können. Diese Feststellung steht im Gegensatz zu der *Fabrets*²⁴, der seinerzeit angegeben hat, daß eine Unempfindlichkeit erst unterhalb von $+1^{\circ}\text{C}$ zustande komme. Diese Erscheinung wird natürlich durch die allmählich weiter sinkende Temperatur noch verstärkt. Temperaturen von weniger als 0°C müssen also nicht zur Anwendung kommen, es sei denn, daß irgendwelche Kälteableitung derart tiefe Temperaturen zur Erlangung genügender Unempfindlichkeit verlange. Auch *Kluczka*⁵³ empfiehlt, nicht unter $+1^{\circ}\text{C}$ zu kühlen, um Pulpenirritationen vorzubeugen. Ich habe die überwiegende Mehrzahl der Kavitätenpräparationen bei Temperaturen zwischen $+1^{\circ}\text{C}$ und $+4^{\circ}\text{C}$ durchgeführt, und die guten Resultate bestätigen die Richtigkeit dieses Vorgehens.

Die Applikationsdauer richtete sich jeweils nach der Art und dem Umfang der zu präparierenden Kavität. Sie betrug in der Regel zwischen 1 und 9 Minuten. Oft wurden in einer Sitzung mehrere Zähne behandelt; die Gesamtdauer der Unterkühlung betrug jedoch nie mehr als etwa 13 Minuten. Klinisch machten sich nach kürzerer Applikationsdauer in keinem Fall Irritationen irgendwelcher Art bemerkbar; bei längerer Unterkühlung (über 10–13 Minuten) traten indessen bei einigen Patienten nach Stunden leichte Schmerzen auf. Ähnliche Erfahrungen haben auch *Riethe*⁹⁰ und andere gemacht.



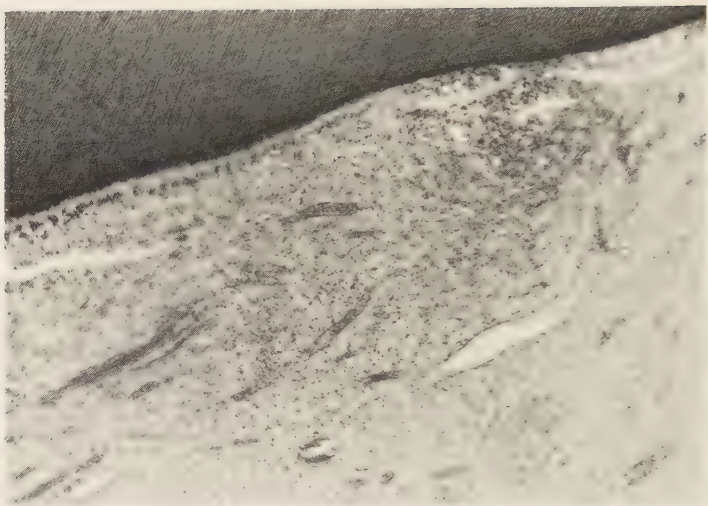
Mikrophoto Ia

Hydropsbildung in einem Pulpenhorn; Pulpagewebe teilweise retikulär atrophiert;
 leichte venöse Stase; Pulpa im übrigen unverändert
 Versuchsbedingungen: Abkühlung auf $4-0^{\circ}\text{C}$ während 3 Minuten. Vergr. 15 :



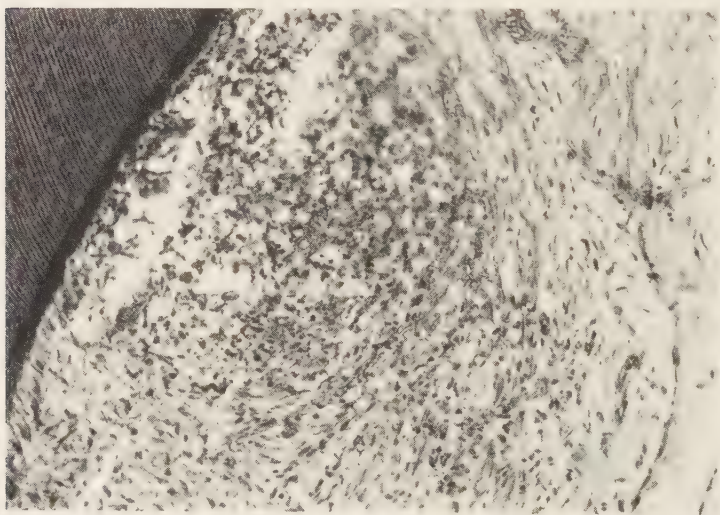
Mikrophoto Ib

Hydropsbildung im einen Pulpenhorn; Venen etwas erweitert; Odontoblasten-
 schicht mit Ausnahme der hydropisch degenerierten Zone unverändert. Vergr. 35



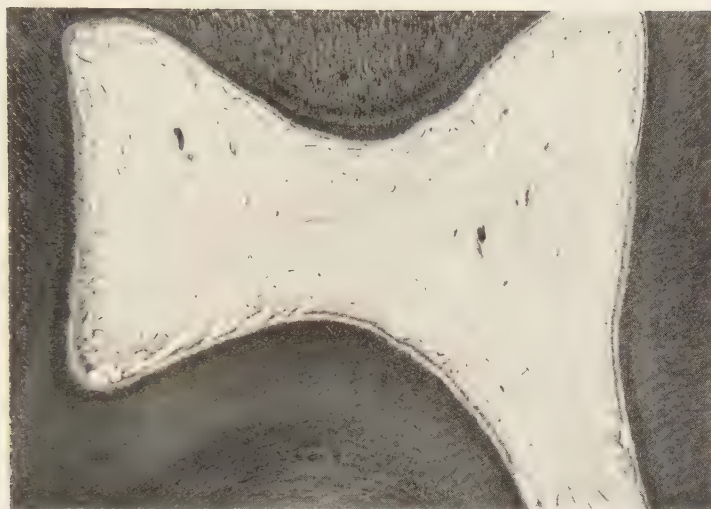
Mikrophoto IIa

Deutliche begrenzte Infiltrationszone (Rundzellen); Gefäße schwach erweitert
Versuchsbedingungen: Abkühlung auf $4-0^{\circ}\text{C}$ während 6 Minuten. Vergr. 55



Mikrophoto IIb

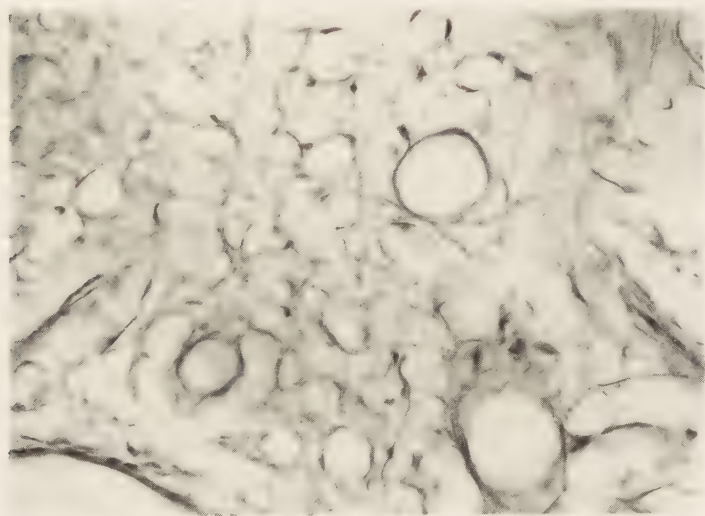
Odontoblasten im Bereich des Rundzelleninfiltrates degeneriert; Infiltrat begrenzt;
Vene (rechts) erweitert. Vergr. 120 $\times$



Mikrophoto IIIa

Odontoblastenzone unverändert; Pulpengewebe in der Pulpakammer weitgehend begrenzt, retikulär atrophiert; venöse Stauung.

Versuchsbedingungen: Abkühlung auf 4 bis -2°C während 4 Minuten. Vergr. $15\times$



Mikrophoto IIIb

Retikulär atrophiertes Pulpengewebe im Cavum; erweitertes Gefäß (links)

Vergr. $200\times$

Bei 6 Zähnen wurde im Verlauf der Präparation infolge sehr tiefgreifender Karies die Pulpa geritzt. Drei dieser Verletzungen erfolgten, ohne daß der Patient einen Warnschmerz empfunden hätte; bei den drei übrigen war die Anästhesie in Pulpennähe ungenügend.

Das zeigt, daß in vielen Fällen wohl noch ein Warnschmerz ausgelöst werden kann; oft aber läßt sich die Gefahr einer Pulpenläsion, mit der in Fällen von Caries profunda immer gerechnet werden muß, erst zu spät erkennen, im Augenblick, nämlich, da die anämische, nicht rötlich durchschimmernde Pulpa angeschnitten wird. In solchen Fällen ist besondere Vorsicht geboten. Eine gewisse Schmerzempfindlichkeit in Pulpennähe kann dadurch erreicht werden, daß man den Abstand zwischen Düse und Zahn vergrößert und den Luftstrom nicht direkt in die Kavität leitet. Der löffelförmige Exkavator und die langsam laufende Maschine ermöglichen hier eine schonende Entfernung der erweichten Massen.

Vor dem Legen der Unterfüllung beziehungsweise der Füllung ließ ich die Patienten jeweils kurz spülen, einmal um den gekühlten Bezirk rascher wieder auf Körpertemperatur zu bringen, dann aber auch, um die hochgradige Austrocknung des Dentins zu beheben.

b) Klinische Nachprüfungen:

Die behandelten Patienten wurden zum Teil nach einigen Tagen, zum Teil nach 4 bis 20 Wochen zur Kontrolle bestellt. Auf diese Weise konnten 166 Zähne bei 39 Patienten klinisch nachgeprüft werden. In 128 Fällen wurde eine Vitalitätsprobe mittels des Induktionsstromes durchgeführt. Die dabei ermittelten Werte sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Die Vitalität der Pulpa ist auf Grund der klinischen Nachuntersuchungen in keinem Fall geschädigt oder sogar in Frage gestellt worden.

c) Ergebnisse der histologischen Untersuchung:

Um den klinischen Befund durch eine histologische Kontrolle zu ergänzen, kamen von den 207 unter Nondolor-Kaltluftanästhesie behandelten Zähnen 7 nach einer Beobachtungszeit von 6–10 Wochen zur Extraktion. Dabei handelte es sich durchwegs um kariesfreie sowie mehr oder weniger kariöse Sechsjahrmolaren jugendlicher Patienten im Alter von 10 Jahren, die aus orthodontischen Gründen extrahiert werden mußten.

Die Kavitätenpräparation erfolgte unter Verwendung von Diamantschleifkörpern und neuen scharfen Bohrern möglichst schonend. Zeit und Intensität der Kühlung wurden weitgehend variiert. Nach kurzem Spülen mit lauwarmem Wasser wurden die Kavitäten mittels Alkohol getrocknet, und anschließend wurde die Unterfüllung aus Phosphat-Zement (de Trey Improved) gelegt. Die Deckfüllungen bestanden aus Amalgam.

(a) *Histologische Technik.* Die extrahierten Zähne wurden nach vorsichtiger Entfernung der Füllungen, Abtragen der Wurzelspitzen und Anbringen von Einkerbungen, die $1-1\frac{1}{2}$ mm tief ins Dentin der Wurzel verliefen, in Formalin 10 % fixiert.

Die weitere histologische Verarbeitung bestand in

- aa) Entkalkung in Salpetersäure 5 %.
- bb) Entsäuerung in Natrium sulfuricum mit anschließendem Wässern,
- cc) Schneiden nach der Gefriermethode, Längsschnitte, $15\ \mu$ dick,
- dd') Färbung mit Hämatoxylin-Eosin, oder
- dd'') Färbung mit Sudan III (Fettfärbung),
- ee) Einbetten in Kanadabalsam beziehungsweise Glyzerin-Gelatine.

Färbung mit Hämatoxylin-Eosin

1. Alkohol 70 % für etwa 5 Minuten
2. Wasser
3. Hämatoxylin für etwa $\frac{1}{4}$ Minuten
4. Spülen in Wasser
5. Differenzieren in Salzsäure-Alkohol
6. Spülen in Wasser, Wasser wechseln
7. Alkohol 70 %
8. Eosin (alkohollöslich) etwa 1 Minute oder mehr
9. Alkohol 96 %
10. Alkohol 96 %
11. Alkohol abs.
12. Karbol-Xylol

Färbung mit Sudan III

1. Sudan III etwa 20 Minuten oder länger
2. Spülen in Wasser
3. Hämatoxylin etwa 1 Minute (bis Präparat blau!)
4. Spülen in Wasser
5. Aufziehen in Aqua dest.

(b) *Resultate.* Bei der Beurteilung der histologischen Resultate ist einmal zu berücksichtigen, daß es sich bei den meisten Fällen um Zähne mit bereits vorhandener Karies handelte, bei welchen eine Reaktion des Pulpagewebes von vornherein zu erwarten war. Wei-

terhin ist auch die Kavitätenpräparation ohne Anwendung der Anästhesiemethoden sowie die Einwirkung des Füllungsmaterials auf die Pulpa, das eventuelle Trauma durch die Injektionsanästhesie und die Extraktion des Zahnes in Betracht zu ziehen, so daß der jeweilige histologische Befund nicht ohne weiteres den Anästhesiemethoden, welche zur Anwendung kamen, zur Last gelegt werden darf. Da zudem eine völlig normale Pulpa histologisch nur selten anzutreffen ist, sind die histologischen Resultate vorsichtig zu bewerten, besonders da auch konstitutionelle Faktoren eine gewisse Rolle spielen.

Da es sich bei der Einwirkung von gekühlter Luft auf das Dentin wie auch bei der Einwirkung von Anästheticis durch den Hochfrequenzstrom um Störungen des Eigenstoffwechsels der Pulpa handeln könnte, wurde bei den Präparaten sowohl die Färbung mit Hämatoxylin-Eosin, wie auch die Fettfärbung mit Sudan III verwendet.

Bei den mit Hämatoxylin-Eosin gefärbten Präparaten waren vor allem Atrophien der Odontoblastenzellen und des Pulpagewebes von leichten bis zu schweren Graden feststellbar. Daneben kamen in 3 Fällen Ödeme, ausgesprochene Hydropsbildungen, polynukleäre Zellen in der Odontoblastenzone und Rundzelleninfiltrationen im Pulpagewebe zur Beobachtung.

Reizdentinbildung war in einem Fall zu finden, Hyperämie in einem weiteren und venöse Stauung in 2 Fällen. Eine Pulpa war normal und zeigte keine pathologischen Veränderungen. (Zwei Fälle konnten infolge eines technischen Fehlers nicht ausgewertet werden.)

In 3 von 5 Fällen zeigte sich eine Verfettung der Dentinkanälchen und der Odontoblastenzone. Diese Verfettung kann aber auf Grund der Karies im Dentin bereits vor der Applikation der Anästhesie bestanden haben. Sie ist jedoch auch bei kariesfreien Zähnen festzustellen, so daß eine Stoffwechselstörung durch das Verfahren als möglich angesehen werden kann. – Im übrigen Pulpagewebe war keine Verfettung zu beobachten.

Zerreißen von Gefäßwänden und Blutungen waren weder beim Nondolor noch beim Dentatron zu konstatieren.

Kluczka⁵⁴ hat bei seinen histologischen Untersuchungen neben leichter Hyperämie, die er für reversibel hält, keine Dauerschädigung

der Pulpa gefunden, und *Riethe*⁸⁹ hält Pulpenschäden ebenfalls für unwahrscheinlich.

Ob und in welchem Ausmaß die hier gefundenen histologischen Veränderungen für das Leben der Pulpa von Bedeutung sind, dürfte anhand späterer, klinischer und histologischer Nachkontrollen festzustellen sein.

In der nachfolgenden Zusammenstellung sind enthalten: Alter des Patienten, Zahngattung, Grad der Karies, Versuchsbedingungen, Dauer der Beobachtung, klinischer Befund und histologischer Befund.

1. U.H. 10 Jahre

Zahn 6-. Karies -. Versuchsdaten: 4-0° C, Zeit 3 Minuten, Anästhesie ++. Beobachtungsdauer: 7 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,8, nach der Applikation (unmittelbar vor der Extraktion) 7,0.

Histologischer Befund: Odontoblastenschicht mit Ausnahme eines Pulpenhorns intakt. In einem Pulpenhorn deutliche Hydropsbildung, die das ganze Horn umfaßt. Pulpagewebe teilweise retikulär atrophiert. Leichte venöse Stase. Pulpa im übrigen unverändert. Odontoblastenschicht und Anfang der Dentinkanälchen leicht verfettet (Mikrophoto I).

2. U.H. 10 Jahre

Zahn 6+. Karies -. Versuchsdaten: 4-0° C, Zeit 6 Minuten, Anästhesie ++. Beobachtungsdauer: 7 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,9, nach der Applikation (unmittelbar vor der Extraktion) 6,8.

Histologischer Befund: Odontoblasten an begrenzter Stelle am Pulpakammerdach vakuolisiert. Stärkere, begrenzte Infiltrationszone (Rundzellen) mit Tendenz zu Ausbreitung in die Tiefe. Gefäße etwas erweitert. Dentinkanälchen nicht verfettet (Mikrophoto II).

3. S.W. 10 Jahre

Zahn -6. Karies +. Versuchsdaten: 4-2° C, Zeit 5 Minuten, Anästhesie +. Beobachtungsdauer: 7 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,4, nach der Applikation (unmittelbar vor der Extraktion) 6,6.

Histologischer Befund: Odontoblastenzone unverändert. Pulpengewebe in Pulpakammer weitgehend, begrenzt, retikulär atrophiert. Venöse Stauung. Retikuläre Atrophie auch in Wurzelpulpa (Mikrophoto III).

4. H.G. 10 Jahre

Zahn 6+. Karies +++. Versuchsdaten: 4–0° C, Zeit 4 Minuten, Anästhesie ±. Beobachtungsdauer: 10 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 7,2, nach der Applikation (unmittelbar vor der Extraktion) 6,9.

Histologischer Befund: Starke Reizdentinbildung in Pulpenhorn. Odontoblasten gut erhalten. Pulpagewebe in Wurzelkanal retikulär atrophiert. Leichte Verfettung der Dentinkanälchen.

5. M.G. 10 Jahre

Zahn 6+. Karies -. Versuchsdaten: 4–1° C, Zeit 3 Minuten, Anästhesie ++. Beobachtungsdauer: 10 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,7, nach der Applikation (unmittelbar vor der Extraktion) 6,5.

Histologischer Befund: Pulpa unverändert.

4. Schlußfolgerungen

Die Kaltluftanästhesie mittels des Nondolor-Gerätes stellt einen der neuesten und meines Erachtens einen sehr brauchbaren Anwendungsmodus der Kälte zum Zwecke der Dentindesensibilisierung dar, wobei jeweils der individuelle Faktor mit in Betracht gezogen werden muß. Gestützt auf meine Erfahrungen möchte ich den Indikationsbereich folgendermaßen abgrenzen:

Die Unterkühlungsanästhesie mittels der Nondolor-Apparatur ist ohne weiteres erfolgversprechend durchführbar und geeignet zur schmerzfreien oder schmerzverminderten Präparation von Kavitäten und zum Beschleifen von oberen und unteren Frontzähnen und Prämolaren. Die Anwendung im Molarenbereich ist sehr oft schwierig und, abgesehen von günstig gelagerten Ausnahmefällen, abzulehnen.

Als Vorzüge des Gerätes sind neben seiner einfachen Handhabung und seiner minimalen Wartung die vielseitige Anwendbarkeit und das Fehlen nachteiliger klinischer Nebenwirkungen und Folgen zu werten. Die Applikation bedeutet für den Zahnarzt keinen Zeitverlust, und während der Arbeit bleibt die Kavität sauber und übersichtlich. Das Gerät ermöglicht ein ziemlich schmerzloses Einschleichen durch exakte Dosierung und Überwachung der Kältewirkung, und die Methode bringt keinerlei Belastung psychischer Art mit sich.

Dem gegenüber sind vor allem die Notwendigkeit einer Hilfsperson, die begrenzte Indikation und der vorläufig noch außerordentlich hohe Anschaffungspreis als Nachteile zu betrachten.

Der Nondolor erfüllt die oben aufgestellten Forderungen weitgehend; einzig die universale Anwendbarkeit und Behinderung des Zahnarztes durch zusätzliche Instrumente sind nicht befriedigend gelöst.

(Extraktionen, Inzisionen, Trepanationen wurden nicht durchgeführt, da durch Untersuchungen in dieser Richtung der Rahmen der Arbeit gesprengt worden wäre.)

V. Prinzipielles zur Dentinanästhesie mit dem Dentatron-Gerät nach Mach

1. Grundlagen

Beim Dentatron-Gerät, das von *Mach* entwickelt wurde und heute fabrikmäßig von der Firma Dr. Lehfeldt & Co. in Heppenheim hergestellt wird, liegt eine neue Methode der Schmerzbekämpfung bei der Kavitätenpräparation, beim Beschleifen vitaler Stümpfe und so weiter auf elektro-medikamentösem Weg vor.

Hatte man seit mehreren Dezennien versucht, eine möglichst wirksame Dentinanästhesie durch Befeuchten der freigelegten Dentineoberfläche mit einem Anästhetikum zu erreichen, so erscheint es heute, nachdem man aus den Versuchen mit allen möglichen Anästheticis die Unzweckmäßigkeit dieses Vorgehens erkannt hat, als naheliegend, das Medikament mittels des elektrischen Stromes tiefer in das Dentin hineinzutransportieren. Das Ausbleiben eines befriedigenden Effektes beim bloßen Betupfen der Dentineoberfläche mit dem anästhetikum-getränkten Wattebausch ist auf die ungenügende Diffusion des Medikamentes zurückzuführen, durch die ein wirkungsvoller Kontakt mit den protoplasmatischen Elementen im Dentin nicht zustandekommen kann. Bei der Druckanästhesie sind wohl in einzelnen Fällen Erfolge zu verzeichnen; sie muß jedoch als *Anaesthesia dolorosa* entschieden abgelehnt werden.

So bleibt nach dem Versagen der Diffusion und der Druckanwendung als drittes Hilfsmittel der elektrische Strom, mittels dessen bereits vor Jahren versucht wurde, das Anästhetikum in direkten Wirkkontakt mit dem protoplasmatischen Substrat zu bringen.

Schon Ende des letzten Jahrhunderts wurden die ersten Versuche in dieser Richtung unternommen. Dabei lieferten einfache Apparaturen den benötigten galvanischen Gleichstrom. *Morton* (zit. nach *Ketterl*^{45, 46}) verwandte 1895 den galvanischen Schwachstrom für die elektrokinetische Dentinbetäubung. Seine Versuche mißlangen jedoch weitgehend, da bereits schwächste Ströme – zum Transport ausreichender Anästhetikummengen ohnehin nicht ausreichend – am vitalen Zahn unerträgliche Schmerzen verursachten. Später haben verschiedene europäische Autoren die Methode weiter ausgebaut. *Woeßler* (zit. nach *Ketterl*⁴⁵) hat als Anästhetikum eine 4 %ige alkoholische Kokainlösung angegeben, mit der offenbar die besten Resultate erzielt wurden. Ein mit dem Medikament getränkter Wattebausch wurde in die zu behandelnde Kavität eingelegt. Dann wurde die Zahnelektrode aufgesetzt, während der Patient die andere Elektrode in der Hand hielt. Ob die positive oder die negative Elektrode an den Zahn gelegt wurde, wird von den einzelnen Autoren verschieden angegeben, und auch das Urteil über diese «Kataphorese» ist nicht einheitlich, da öfters Pulpenschäden festgestellt werden mußten (*Preiswerk*⁷⁹, *Johnson*, zit. nach *Leuenberger*⁶¹). Über gute Resultate berichteten *Price* und *Morgenstern* (zit. nach *Leuenberger*⁶¹). Die Applikation dauerte 10–15 Minuten – ein weiterer Grund dafür, daß sich dieses Verfahren zur Bohrschmerzverminderung nicht einzubürgern vermochte. *Rebel*⁸³ erwähnt die Methode noch in seinem Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde, bezeichnet sie aber als unbedeutend.

In den letzten Jahren wurde nun versucht, durch Änderung des Medikamentes und der Stromform günstigere Resultate in bezug auf die reversible Blockierung der Schmerzrezeptoren im Dentin beziehungsweise der Pulpa zu erreichen.

Als neues Anästhetikum kam ein Gemisch von Pantocain (2 %) und Novocain (10 %) im Verhältnis 2 : 1 zur Anwendung, unter Zusatz verschiedener Netzmittel zur Herabsetzung der Oberflächenspannung, denn es war zu erwarten, daß der Kontakt zwischen der anästhesierenden Lösung und den sensiblen Elementen im Dentin und damit die Wirksamkeit umso besser sei, je weniger sich die Oberflächenspannung auswirke.

In der Tat war die Wirkung des kombinierten Präparates der des reinen Medikamentes überlegen: eine gewisse Schmerzreduktion

konnte beobachtet werden, jedoch nur in ungenügendem Maße. Es mußte also ein aktiver Transport von Anästhetikum pulpenwärts zustandegebracht werden.

Versuche mit Gleichstrom fielen, wie bereits erwähnt, negativ aus, da die erträgliche Stromstärke (0,1–0,2 mA) für einen ausreichenden Transport nicht genügte. Es stellte sich also die Aufgabe, eine Stromform zu finden, die eine Steigerung der Gleichstromstärke gestattet, ohne den schmerzauslösenden Reiz einer reinen Gleichstromwirkung zu erzeugen, denn der elektrokinetische Effekt ist in hohem Maße von der Stromstärke abhängig.

Aus diesem Grunde wurde der Gleichstrom in einzelne Impulse «zerhackt» und der Abstand zwischen den einzelnen Impulsen so gewählt, daß keine Summierung auftrat. Zugleich verkürzte man den Einzelimpuls, so daß er trotz größerer Stromstärke unter den Reizschwellenwert zu liegen kam, entsprechend der Tatsache (*Rein*⁸⁴), daß hochfrequente Wechselströme bis zu mehreren Ampere Stromstärke vom Körper reizlos ertragen werden. Auf diese Weise erfolgte der zweite Stromstoß erst, nachdem die vom ersten hervorgerufene Konzentrationsverschiebung durch Diffusion bereits wieder egalisiert war.

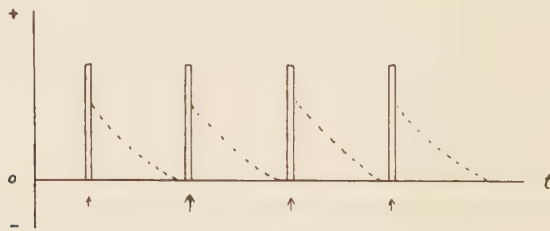


Abb. 5

Die Frequenz betrug 800 000–1 200 000 Impulse pro Sekunde. So ließ sich die Stromstärke der Einzelimpulse erhöhen, ohne daß daraus eine Erhöhung des wirklichen Gleichstromwertes resultierte.

Mach ging in der Folge noch einen Schritt weiter, indem er an die Stelle des zerhackten Gleichstromes den unsymmetrischen hochfrequenten Wechselstrom setzte. Er ging dabei von der Überlegung aus, daß ein Reiz durch einen unmittelbar folgenden, aber umgekehrt

gerichteten getilgt wird, auch wenn seine Intensität geringer ist. Man kann also beim gewissermaßen «hochfrequent zerhackten» Gleichstrom die Pause durch einen schwachen negativen Impuls ersetzen, so daß auch bei gesteigerter Impulsfrequenz die Schmerzschwelle erst bei sehr hoher Intensität überschritten wird.

Damit haben wir einen asymmetrischen hochfrequenten Wechselstrom vor uns, die von *Mach* gefundene Stromform, die elektrokinetische Vorgänge mit hoher Feldstärke reizlos ablaufen zu lassen gestattet.

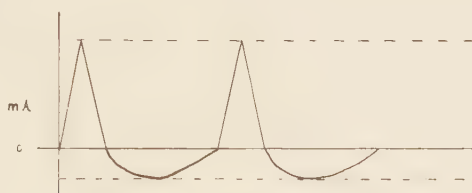


Abb. 6

Als optimal erwies sich ursprünglich eine Frequenz von 0,8–1,2 MHz, später eine solche von 1,7 MHz, und der vom Patienten schmerzlos ertragene mittlere Gleichstromwert, das heißt der Gleichstromanteil des Wechselstromes, beträgt 10 mA, entsprechend einer positiven Spitze von 100 mA. Im Gegensatz zum Wiederanstieg des Widerstandes beim galvanischen Gleichstrom bleibt der Dentinwiderstand hier konstant oder sinkt ab, und die Schmerzschwelle für den Gleichstrom wird heraufgesetzt. Die vom hochfrequenten Wechselstrom erzeugte Temperaturerhöhung soll nach Angaben der Herstellerfirma 39° C nicht übersteigen, solange die Hochfrequenz nicht über 5 Skalenteile gesteigert wird, so daß von dieser Seite keine Pulpenirritationen zu befürchten sind. Nach *Lehfeldt* (zit. nach *Leuenberger*⁶¹) ist die gebildete Wärme dreifach wirksam: Sie setzt die Reizschwelle herauf, steigert die Diffusionsgeschwindigkeit und erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit.

Die einzelne Schwingung besteht aus einer hohen positiven Spitze, die rasch abfällt, und einer zu dieser asymmetrischen negativen Phase. *Mach* spricht von der sogenannten Lösphase (negativ) und der sogenannten Arbeitsphase (positiv).

Dieser Strom besitzt nach Ansicht von *Ketterl*, *Kierse* und *Tischler*⁴⁵ eine dreifache Wirkung in Form

1. elektrokinetischer und elektropolarer Effekte,
2. eines sogenannten Spreading-Effektes und
3. eines Thermoeffektes.

Mit Hilfe elektrokinetischer Effekte, das heißt unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes, wird das Anästhetikum in Richtung Pulpa befördert. Ob es sich hier um Elektroosmose (d.h. das Anästhetikum wird als solches durch eine Membran transportiert, wobei die elektrische Ladung der Membran die treibende Kraft darstellt) oder um Elektrophorese (d.h. Transport des Medikamentes gebunden an Wassermoleküle unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes) handelt, ist unwichtig, da in beiden Fällen die positive Elektrode am Zahn liegen muß. Unter dem Einfluß des Wechselfeldes bewegen sich die Moleküle nicht gleichförmig in einer Richtung, sondern sie pendeln hin und her. Bedingt durch die höhere positive Spitze, die durch Überlagerung des Wechselstromes durch einen Gleichstrom zustande kommt, überwiegt jedoch der eine Pendelausschlag, woraus eine gerichtete Bewegung der Teilchen resultiert. Bestimmend für das Maß der Vorwärtsbewegung ist der Grad der Asymmetrie des Wechselfeldes, wobei das Ausmaß des Transportes mit wachsender Asymmetrie zunimmt. Mit anderen Worten: Die Teilchen wandern um so schneller, je kleiner die Löschphase im Vergleich zur Arbeitsphase ist.

Als elektropolarer Effekt kann die als Anelektrotonus bekannte Erscheinung gewertet werden, die allgemein zu einer Erregbarkeitsverminderung im Gebiete der Anode führt.

Auf die Bedeutung einer möglichst geringen Oberflächenspannung hinsichtlich des angestrebten Anästhesieeffektes wurde bereits hingewiesen. Unter dem Einfluß eines hochfrequenten Wechselfeldes wird die Oberflächenspannung herabgesetzt, und *Schliephake* hat festgestellt, daß sich die Benetzungsverhältnisse zweier Stoffe im elektrischen Kurzwellenfeld in dem Sinne ändern, daß eine leichtere Benetzung stattfindet. *Mach* spricht vom sogenannten Spreading-Effekt.

Unter dem Thermoeffekt versteht man die Erwärmung des Medikamentes durch den hochfrequenten Wechselstrom. Seine Exi-

stanz wurde damit bewiesen, daß einzig durch Erhitzen des Anästhetikums mit Hilfe eines reinen Wechselstromes (also unter Ausschluß einer elektrokinetischen Wanderung!) eine bessere Anästhesie erzielt werden konnte als auf rein pharmakologischem Weg.

Der unsymmetrische, hochfrequente Wechselstrom wird von einem von *Mach* konstruierten Oszillator geliefert, der unten beschrieben werden soll.

Neben der geeigneten Stromform mußten aber auch geeignete Anästhetika gefunden werden. Diese müssen vor allem pulpenfreundlich sein; sie sollen gute Netzfähigkeit besitzen und in nur langsam verdunstenden Lösungsmitteln stabil bleiben.

2. Beschreibung der Apparatur und der Anästhetika

a) *Das Dentinanästhesiegerät Dentatron*: Es wird in Form eines etwa 9 kg schweren, leicht transportablen Kastens von folgenden Abmessungen gebaut: Höhe 27 cm, Breite 38 cm, Tiefe 14 cm. Das Gehäuse ist an seiner Vorderseite mit den Schaltknöpfen und den Meßskalen versehen.

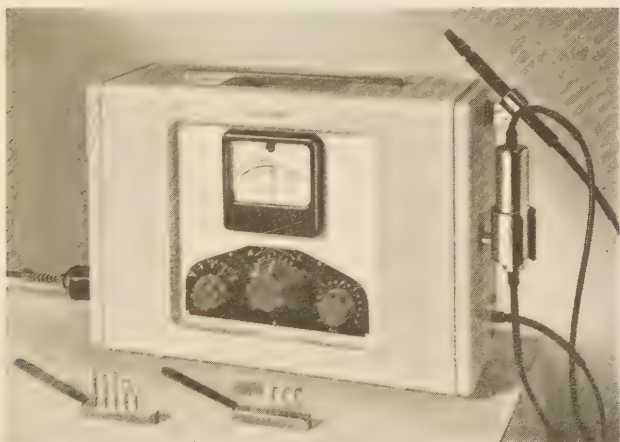


Abb. 6

Drei Drehschalter sind nebeneinander angebracht:

(a) Derjenige *rechts* dient zugleich als Netzschalter und als Hochfrequenzregler. Bei ausgeschaltetem Gerät steht der weiße Markie-

rungszapfen auf «AUS». Durch Rechtsdrehung wird der Netzanschluß hergestellt und die Röhren unter Strom gesetzt. Dabei steht der Zapfen auf «O», und über den Meßskalen leuchtet ein rotes Kontrollämpchen auf. Wird der Knopf weiter nach rechts gedreht, wird die Hochfrequenz eingeschaltet und langsam gesteigert, in Skalenteilen am Schalter ablesbar.

(b) Der *mittlere* Knopf reguliert den anodischen beziehungsweise kathodischen Gleichstrom in seiner Größe und seiner Polarität, und seine Spannung kann durch Ausschlag der Nadel am Meßinstrument kontrolliert werden. Bei Linksdrehung liefert der Apparat anodischen, bei Rechtsdrehung kathodischen Gleichstrom, das heißt im ersten Fall wandern die positiv geladenen Kationen – in unserem Fall die Anästhetikumsionen – von der Zahnelektrode weg ins Dentin, im zweiten werden die negativ geladenen Anionen, zum Beispiel OH-Ionen, in den Zahn transportiert.

(c) Beim *linken* Schalter sind 5 verschiedene Schaltstellungen möglich, je nach dem Verwendungszweck des Gerätes: $k\Omega$ für Widerstandsmessung, V für Dentinanästhesie, PT für Pulpentest und 2 beziehungsweise 10 mA für Ionophorese.

Über den Schaltknöpfen ist das Meßinstrument eingebaut, das wegen der vielseitigen Verwendbarkeit der Apparatur mit mehreren Skalen versehen ist:

Links von der Mittellinie findet sich oben die Skala für die Widerstandsmessung, eingeteilt in $k\Omega$, in der Mitte diejenige für Anästhesie, eingeteilt in Volt, und unten eine dritte, eingeteilt in mA, zur Messung der Stromstärke bei Schleimhautanästhesie und so weiter.

Im Bereich links von der Mittellinie ist die Zahnelektrode stets anodisch (+), rechts von der Mittellinie ist sie kathodisch (–) übersteuert. Da der Strom nicht in einer Richtung fließt, sondern hin und her pendelt, kann nicht von Anode beziehungsweise Kathode im eigentlichen Sinne des Wortes gesprochen werden.

(Die untere Skala links und die zwei Skalen im kathodischen Bereich waren für mich ohne Bedeutung, da die Arbeit auf die Durchführung der Dentinanästhesie und der Widerstandsmessung beschränkt ist.)

An der linken Seitenwand des Gehäuses befindet sich unten die Steckbuchse zur Herstellung des Netzanschlusses, darüber der Spannungswähler, durch dessen Drehung die Einstellung auf alle

Spannungen zwischen 110 und 240 V ermöglicht wird. Das Dentatron kann also an alle Wechselstromnetze mit Spannungen aus obigem Bereich angeschlossen werden. Seine Leistung beträgt 15 W.

In die rechte Seitenwand ist die Steckbuchse für die zum Griffel führende etwa 170 cm lange, die Handelektrode tragende Stromzuführung eingelassen. Der Griffel selbst hat die Form eines Bleistiftes und dient zur Aufnahme der verschieden geformten Zahnelektroden. Diese werden unbeweglich im Griffel festgeklemt. Steht das Gerät außer Betrieb, werden sowohl die Handelektrode wie der Griffel durch entsprechende Halter, die an der rechten Wand vorspringen, aufgenommen.

Die Rückwand des Gehäuses läßt sich leicht abschrauben, falls sich Reparaturen als nötig erweisen. Wartung beansprucht das Dentatron keine. Die Zahnelektroden werden nach jeder Verwendung gereinigt und sterilisiert.

Bei Aufstellung der Apparatur muß unbedingt darauf geachtet werden, daß eine einwandfreie Erdung gewährleistet ist. Andernfalls können niederfrequente Wechselströme von etwa 50 Hz (= Netzfrequenz), die reizphysiologisch bedeutsam sind, die Reizschwelle für den Dentatron-Strom am lebenden Zahn so weit herabsetzen, daß ein Einschleichen fast unmöglich und damit der Effekt nicht befriedigend ist.

b) *Die Anästhetika*: Die im folgenden zu beschreibenden Untersuchungen wurden mit zwei verschiedenen Anästhetika durchgeführt.

Beim Präparat I handelte es sich um: Novocain 2%ig (1 Teil) + Pantocain 2%ig (2 Teile) in 1,2-Propylenglykol als Lösungsmittel.

Als Netzmittel zur Verringerung der Oberflächenspannung wurde Thesit liquidum 10%ig verwendet, das separat geliefert und appliziert wurde.

Später wurde das Benetzungsmittel dem Anästhetikum zugesetzt und dieses selbst abgeändert. Heute findet das folgendermaßen zusammengesetzte Präparat II Verwendung: 40 g Oxyprocain, 40 g Salicain, 80 g Bronchocain («S 650») gelöst in 2 l Thesit liquidum 10%ig bei Zimmertemperatur oder im Wasserbad bei 40° C. Bei diesen Stoffen handelt es sich um Abkömmlinge der para-Amino-Salizylsäure (PAS), bei der Müller⁶⁹, Holler³⁶ und andere eine bakteriostatische Wirkung festgestellt haben. Gestützt auf die

Tatsache, daß viele Ester der para-Amino-Benzoesäure (PAB) gute anästhesierende Wirkung zeigen, wurde auch von der PAS eine Reihe von Estern (Alkyl-amino-äthyl-ester) hergestellt und auf ihre anästhesierenden Eigenschaften geprüft. Verglichen mit Novocain konnte bei dem ihm entsprechenden Oxyprocain eine sehr ähnliche, jedoch schneller eintretende Wirkung bei leicht verlängerter Anästhesiedauer und ungefähr gleicher Toxizität beobachtet werden. Salicain zeigte im Vergleich mit dem ihm analogen Pantocain die gleiche anästhesierende Wirksamkeit bei verringerter Toxizität. Die Kombination von Oxyprocain mit Salicain ergab eine gesteigerte Wirkung bei gleichzeitiger Verminderung der Toxizität (*Holler*³⁶).

Gewöhnliche Anästhetika sind für die Dentatronanästhesie ungeeignet, da sie wässrige Lösungen darstellen und gefäßkontrahierende Zusätze enthalten.

VI. Eigene Untersuchungen

1. Handhabung und Anwendung des Gerätes

Bei den Ausführungen über die Anwendung des Dentatrons soll zuerst die Arbeitsweise bei seiner Verwendung zur Dentinanästhesie und anschließend die Durchführung einer Widerstandsmessung beschrieben werden.

Vor der eigentlichen Applikation muß der zu behandelnde Zahn vorbereitet werden. Da das Anästhetikum weder Schmelz noch kariöses Dentin zu durchdringen, sondern nur durch die gut durchlässigen Dentinkanälchen pulpenwärts zu wandern vermag, muß mindestens an einer kleinen Stelle hartes, nicht blockiertes Dentin freigelegt werden, mit anderen Worten: Die Kavitätenpräparation muß bis zur Schmelz-Dentin-Grenze ohne Anästhesie vorgenommen werden. Ist die Präparation so weit fortgeschritten, wird der betreffende Zahn relativ trocken gelegt, die Kavität ausgewaschen und getrocknet. Bei der Verwendung des Anästhetikums I war es notwendig, die Kavität anschließend mit dem Netzmittel (Thesit liquidum) zu betupfen, um die Oberflächenspannung des Dentins herabzusetzen. Beim neuen Präparat II erübrigt sich das, und das mit der Lösung getränkte Wattekügelchen kann sofort nach dem Austrocknen der Kavität in diese eingebracht werden, derart, daß

möglichst ihre ganze Innenfläche berührt wird, das heißt mit dem Anästhetikum in Kontakt kommt. Zum Austrocknen wird Dialyt verwendet, das neben seiner Eigenschaft, Wasser aufzunehmen, auch bakteriostatische Wirkung besitzen soll (Wächter¹¹²).

Die für den Fall geeignete Zahnelektrode wird im Griffel fixiert. Ihre Fläche soll stets so groß als möglich sein, soweit dies Größe und Lage der Kavität zulassen. Es ist somit unrichtig, einen kleinen Wattebausch mit einer spitzen Elektrode an irgendeinen Punkt zu drücken, wo die Dentinkanälchen eventuell tangential verlaufen.

Zur Vermeidung jeglicher Stromableitung, die den Erfolg der Dentinanästhesie beeinträchtigt oder sogar ausschließt, muß streng darauf geachtet werden, daß die Zahnelektrode während der Applikation weder mit Weichteilen noch mit Speichel oder mit benachbarten Metallfüllungen, die mit diesem oder mit der Gingiva in Berührung stehen, in Kontakt kommt, da sonst ein Teil des Stromes ungenützt abgeleitet wird. Metallfüllungen können mit Wachs oder Guttapercha verkleidet werden, Lippen, Wangenteile oder Zunge werden mit Hilfe des Spiegels weggehalten, der Speichel wird abgesaugt, und die Gingiva wird, besonders bei Halskavitäten, einerseits aus obigen Gründen, anderseits zur Verhütung von Verbrennungen durch den Hochfrequenzstrom, mit Silicon-Öl isoliert. Dieses Isoliermittel darf aber nicht in die Kavität eindringen, da es dort das Zustandekommen der Anästhesie verunmöglichen würde.

Um auch der psychischen Situation des Patienten gerecht zu werden, muß dieser vor der ersten Applikation unbedingt über die Methode orientiert werden, damit keine Verkrampfungszustände infolge Angst vor dem Unbekannten, besonders vor dem elektrischen Strom, provoziert werden. Der Patient soll auf ein leichtes Kribbeln im Zahn vorbereitet werden, denn bei langsamem Einschleichen steigt dieses Gefühl nur in Ausnahmefällen zu einem plötzlichen Stechen an.

Das Gerät wird durch Rechtsdrehung des Netzschalters bis zur Stellung «O» an das Stromnetz angeschlossen. Dabei zeigt das Aufleuchten des roten Kontrollämpchens die Betriebsbereitschaft an. Der mittlere Schalter steht auf «O», der Funktionsschalter auf «V» (=Volt). In dieser Stellung kann aus dem Ausschlag der Nadel an der mittleren Skala (links) die mittlere Gleichspannung am Zahn abgelesen werden.

Während der Patient die zylinderförmige Handelektrode (kathodisch übersteuerte Elektrode) in die Hand nimmt, wird die Zahnelektrode (anodisch übersteuerte Elektrode) unter leichtem Druck auf das feuchte Wattekügelchen gesetzt und der Hochfrequenzregler in gleichförmiger, nicht zu rascher Bewegung bis ungefähr zum 5. und nach einigen Sekunden zurück auf den 3. Skalenstrich der Knopfskala gedreht. Auf diesem Punkt bleibt er während der Applikationsdauer stehen, kann aber auch weiter zurückgestellt werden, falls die vom Hochfrequenzstrom erzeugte Wärme für den Patienten unangenehm ist. Anschließend wird durch Linksdrehung des Gleichstromreglers sehr langsam mit dem anodischen Gleichstrom eingeschlichen. Die Zahnelektrode stellt damit den positiven Pol dar. Die Einschleichezeit hängt stark von der individuellen Stromempfindlichkeit des Patienten ab, der früher oder später ein leichtes Kribblen am Zahn wahrnehmen wird, und beträgt 2–3 Minuten (nach *Heuser* 40 Sekunden).

Sobald dieser Punkt erreicht ist, beläßt man den Schaltknopf einige Sekunden lang in dieser Stellung, um dann zu versuchen, den Strom weiter zu steigern. Es soll in jedem Fall das gut erträgliche Maximum angestrebt werden, das oft schon bei 5 V, oft erst bei 30 V liegt. Die Zeit, die zur Erreichung einer befriedigenden Anästhesie benötigt wird, hängt ab von der Durchlässigkeit der Dentinkanälchen und von der Größe der vom Patienten ertragenen Gleichspannung.

Nach Ablauf dieser Anwendungszeit wird erst der mittlere, dann der rechte Drehschalter langsam auf «O» zurückgestellt. Die Elektroden werden an das Gerät zurückgesteckt, und der Strom kann ausgeschaltet werden, falls der Apparat nicht weiter benützt wird.

Damit ist die Applikation abgeschlossen, man läßt den Patienten spülen, ohne dadurch die Anästhesie zu unterbrechen, und es kann mit der Kavitätenpräparation begonnen werden.

2. Beobachtungen bei der Applikation am Patienten

Ich habe im Verlaufe mehrerer Monate mit dem unserer Klinik zur Erprobung zur Verfügung gestellten Dentatron-Gerät eine größere Anzahl Dentinanästhesien durchgeführt und dabei verschiedene Feststellungen gemacht, die hier kurz beleuchtet werden sollen.

Bei der Beschreibung der Apparatur wurde das Stromzuführungskabel vom Gerät zum Applikationsgriffel erwähnt. Dieses hat sich bei der Anwendung trotz seinem geringen Durchmesser von etwa 4 mm als zu wenig beweglich erwiesen, da sich der Griffel am Ende des Kabels nicht drehen läßt. Dieser Umstand macht in vielen Fällen, je nach der Lage der Kavität und der erforderlichen Stellung der Zahnelektrode, eine gewaltsame Torsion der Leitung notwendig, wodurch die Hand des Zahnarztes unnötigerweise ermüdet wird.

Die zur Verhinderung jeglicher Stromableitung unbedingt notwendige relative Trockenlegung ist oft nur schwer durchzuführen. Das gilt einmal für alle Patienten mit reichlichem Speichelfluß, wo die Watterollen trotz eingelegtem Speichelzieher bereits nach kurzer Zeit durchnäßt sind. Dann wird aber auch bei einer großen Zahl von Patienten mit normalem Speichelfluß durch den durch den elektrischen Strom ausgelösten lokalen Reiz die Speichelsekretion erheblich gesteigert, was zu den eben erwähnten Schwierigkeiten führt. Absolute Trockenlegung des Arbeitsfeldes mittels Kofferdams wäre wohl wünschenswert, ist jedoch in vielen Fällen aus technischen Gründen undurchführbar (z. B. Lokalisation der Kavität am Zahnhals). Benachbarte Metallfüllungen sind durch Cellophanstrips oder Kofferdam abzudecken.

Eine weitere Ursache für Stromableitung bilden Weichteilpartien, die der Zahnelektrode anliegen. Um diese Fehlerquelle im Prämolaren- und Molarenbereich auszuschalten, ist es vielfach unumgänglich, Wange oder Zunge mit dem Mundspiegel fernzuhalten. Daraus ergibt sich ab und zu die Notwendigkeit einer Assistenz zur Bedienung des Gerätes. Im allgemeinen erübrigt sich jedoch eine Hilfsperson.

Eventuelle Stromableitung macht sich am zögernden Zeigerausschlag bemerkbar. Es kann dabei vorkommen, daß der Schalter bis zum Maximum aufgedreht wurde, während der Zeiger des Meßinstrumentes nur 10–15 V angibt. Das hat seinen Grund im geringen elektrischen Widerstand des Speichels. Bei jugendlichen Zähnen ist der geringe Zeigerausschlag jedoch meist auf den kleinen Widerstand des Inhaltes der relativ weitlumigen Dentinkanälchen zurückzuführen. Großer Zeigerausschlag deutet auf viel Sekundärdentin, verstopfte Dentinkanälchen, ausgetrockneten Wattlebensch.

Die Zahnelektroden sind an ihrem Schaft zum Teil ungenügend

isoliert, und ihre Kontaktfläche weist nach einiger Zeit Spuren starker Korrosion auf.

Während des Einschleichens mit der Hochfrequenz verspürt der Patient entsprechend seiner Empfindlichkeit auf den elektrischen Strom bereits bei 2 oder erst bei mehreren Skalenteilen ein leichtes Kribblen im Zahn, das bei weiterem Steigern in ein Brennen übergeht. Diese Steigerung ist jedoch nicht erforderlich; man geht im Gegenteil beim Auftreten dieses Gefühls mit der Hochfrequenz soweit zurück, bis es wieder erlischt. Dadurch wird auch die Gefahr des Verkochens der Pulpa behoben.

Beim Einschleichen mit dem den hochfrequenten Wechselstrom überlagernden Gleichstrom treten ähnliche Erscheinungen auf. Der dabei ohne jegliche Sensation erreichbare Wert ist bedeutenden individuellen Schwankungen unterworfen: Er kann zwischen 5 und 30 V liegen. Sobald die Reizschwelle erreicht ist, geht man mit dem Gleichstrom ein wenig zurück, wartet ein paar Sekunden, um dann langsam weiter zu steigern. Dieser Vorgang kann sich mehrmals wiederholen. *Ketterl, Kierse, Tischler*⁴⁵ geben an, daß es ihnen möglich war, in 90% der Fälle innert 2–4 Sekunden den gewünschten Gleichstromwert von 8–10 mA zu erreichen. Im Gegensatz zu ihnen habe ich bei den allermeisten Applikationen für den Einschleichevorgang bedeutend mehr Zeit aufwenden müssen und der genannte, hohe Gleichstromwert war nur in ungefähr der Hälfte der Fälle erreichbar.

Die Stromänderungen müssen unbedingt stetig verlaufen; die Elektrode darf während der Applikation nicht abgehoben und wieder aufgesetzt werden, da dies unter Umständen sehr schmerzhaft ist. Sie darf wegen plötzlicher Stromänderungen auch nicht mit Metallteilen in Kontakt kommen.

Wenn die Applikation zeitlich etwas ausgedehnt wird, oder wenn die Frequenz des Wechselstromes zu groß ist, trocknet der Wattebausch allmählich aus. Das beruht darauf, daß das Anästhetikum einerseits ins Dentin transportiert, andererseits durch die gebildete Wärme zum Verdampfen gebracht wird. Es empfiehlt sich aus diesen und anderen Gründen, die Hochfrequenz auf 1–3 Skalenteilen zu halten.

Bei der Anwendung des Gerätes zur schmerzfreien Präparation von Halskavitäten habe ich in vielen Fällen Verbrennungen des

Gingivalsaumes festgestellt. Da hier eine Berührung zwischen Zahnfleisch und anästhetikumfeuchtem Wattekügelchen sehr oft nicht zu vermeiden ist, wurden die zunächst liegenden Gewebsteile durch den Hochfrequenzstrom verkocht. In neuerer Zeit wird die Gingiva, wie oben beschrieben, mit Silicon-Öl isoliert, wodurch Verbrennungen sehr weitgehend vorgebeugt wird. Eventuelle Stromableitungen werden dadurch nicht ausgeschlossen.

Wird der Gleichstrom für einige Sekunden auf der gleichen Stufe gehalten, beobachtet man in vielen Fällen ein spontanes Ansteigen der Voltage, angezeigt durch den Zeigerausschlag am Meßgerät. Diese Erscheinung kann auf einer Spannungszunahme infolge Austrocknung des Wattebauschs, das heißt also einer Erhöhung des Widerstandes beruhen.

Die Bauweise des Gerätes bringt es mit sich, daß der Zeiger bei «0»-Stellung nicht immer genau auf Null einspielt. Kleine Abweichungen beruhen nach Angaben der Hersteller nicht auf einer Störung.

Zur Erreichung einer befriedigenden Dentinanästhesie ist es unbedingt erforderlich, daß die Handelektrode zur Gewährleistung einer guten Leitfähigkeit möglichst mit der ganzen Handfläche in Kontakt steht. Es konnten bedeutende Unterschiede im Ausmaß des Zeigerausschlages am Instrument festgestellt werden, je nachdem, ob die Handelektrode von der ganzen Hand umschlossen oder nur mit zwei Fingern gehalten wurde.

In seltenen Fällen gab der Patient ein unangenehmes Kribbeln in der Hand an, das es ihm unmöglich machte, die Elektrode richtig zu umfassen. Der Grund für diese Erscheinung konnte nicht gefunden werden.

Das Ausschleichen sowohl mit dem Gleich- als auch mit dem Wechselstrom löste in keinem Fall irgendwelche Sensationen aus.

Die Anästhesiedauer beträgt je nach der Dauer der Applikation und je nach dem Umfang der erreichten Anästhesie 5-15 Minuten und ist auch zur Präparation größerer Kavitäten ausreichend. Wenn von anderer Seite angegeben wird, daß der normale Arbeitsgang durch die Applikation der Anästhesie für höchstens 2 Minuten unterbrochen werde, so halte ich diesen Zeitwert für allzu optimistisch. Ich habe nach gründlicher Einarbeitung in die Methode immerhin durch-

schnittlich 3-4 Minuten benötigt. Auch *Leuenberger*⁶¹ gibt etwa 3 Minuten an.

Bei Patienten mit sehr trockenen Händen ist es ratsam, die Handfläche zu befeuchten oder die Zylinderelektrode mit feuchtem Löschpapier zu umwickeln, damit trotzdem eine gute Leitfähigkeit gewährleistet ist. In solchen Fällen kann die Handelektrode auch durch eine neutrale Mundelektrode ersetzt werden, was sich bei Patienten, die den elektrischen Strom fürchten, aus psychologischen Gründen von vornherein empfiehlt.

In allen Fällen von Caries profunda trat in Pulpennähe ein deutlicher Warnschmerz in Erscheinung, der die Gefahr einer akzidentellen Pulpeneröffnung auf das Minimum reduziert. Die Verletzung der Pulpa, wie sie bei der vollständigen Entfernung aller kariöser Massen in einigen Fällen unvermeidlich war, löste jeweils Schmerzen aus. Daneben ist es aber möglich, die Pulpa durch die bei allzu forschem Arbeiten entstehende Wärme irreversibel zu schädigen. Der Zahnarzt wird durch die Unempfindlichkeit zu rascherem Bohren verleitet, was in der Folge zu Nachschmerzen oder eventuell sogar zum Pulpentod führen kann. Amerikanische Autoren haben in diesem Zusammenhang nachgewiesen, daß bei trockenem Schleifen innerhalb weniger Sekunden an der Schleifstelle Temperaturen von über 100° C auftreten können (*Funke*, zit. nach *Riedener*⁸⁷). *Riedener*⁸⁷ schließt von der oft blaßgelben Anlauffarbe der Bohrer sogar auf noch höhere Temperaturen. – Auch infolge einer Überdosierung der Hochfrequenz können irreversible Pulpenschäden zustandekommen.

Der Dentatron-Dentinanästhesie sind vor allem Zahnhalskavitäten zugänglich, einerseits wegen ihrer geringen Ausdehnung, anderseits wegen ihrer kleinen Entfernung von der Pulpa. Zudem gehört ihre Präparation zu den schmerzhaftesten Eingriffen auf unserem Gebiet. Zentrale Kavitäten verlangen oft eine längere Applikationsdauer, da die Mächtigkeit des Dentins und eventuellen Sekundärdentins zwischen Kavitätenboden und Pulpa wesentlich größer ist als im Halsbereich. Hat sich der kariöse Prozeß unterminierend, parallel zur Oberfläche ausgebreitet, muß in vielen Fällen eine sogenannte Segment-Anästhesie angestrebt werden. Bei approximalen Kavitäten ist in allen Fällen, wo keine Segmentanästhesie zustandekommt, eine 2-3malige Applikation notwendig.

Die mit dem Dentatron-Gerät behandelten Patienten erklärten sich in der Mehrzahl von der elektro-medikamentösen Methode der Dentindesensibilisierung befriedigt. Ihre diesbezüglichen Angaben sind indessen wesentlich abhängig von ihrem Temperament! 30 von den 71 behandelten Personen gaben ihrer Befriedigung spontan Ausdruck, während 31 auf Befragen hin die Anwendung als angenehm oder doch als nicht ausgesprochen unangenehm beschrieben. 10 Patienten lehnten weitere Applikationen ab. Da jeder Mensch auf schmerzhaft Impulse anders reagiert, erachtete ich es für wichtig, zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Gerätes die jeweilige Reaktionslage der Patienten zu berücksichtigen.

Ich habe die Patienten demzufolge auch hier in drei Gruppen gegliedert:

1. hyposensible =
2. normal sensible .. = +
3. hypersensible = +++

Dabei soll nur der momentane Zustand festgehalten sein, ohne Rücksicht auf seine Ursache – Psyche, Konstitution und so weiter.

Das Urteil der Patienten fiel folgendermaßen aus:

Tabelle 10

Empfindlichkeit	Urteil: -		
	-	5	1
	15	14	2
	15	11	7

Diese Zusammenstellung zeigt, daß die Dentinanästhesie besonders von mittelmäßig und sehr empfindlichen Personen geschätzt wird.

Das beim Einschleichen, besonders mit dem Gleichstrom, hervorgerufene Kribbeln wurde von 37 Patienten (53%) als nicht unangenehm bezeichnet; 23 (33%) empfanden ein leichtes, noch erträgliches Brennen oder Stechen, während 10 (14%) die Applikation als unangenehm oder sogar schmerzhaft ablehnten.

In 2 Fällen, wo mit der elektro-medikamentösen Methode kein befriedigendes Resultat erzielt werden konnte, gelang dies mittels einer Lachgas-Analgesie.

Das Moment der Ablenkung vom Bohrakt fällt hier, im Gegensatz zum oben besprochenen Apparat, nicht ins Gewicht, da die Applikation der Anästhesie und die Kavitätenpräparation nicht zu gleicher Zeit erfolgen.

Widerstandsmessung:

Da ich vor Beginn der Applikation einer Dentatron-Anästhesie in den meisten Fällen eine Widerstandsmessung vorgenommen habe, sei kurz auf deren Bedeutung und Durchführung hingewiesen.

Bei der Entwicklung des Elektro-Analgesie-Gerätes wurde die interessante Feststellung gemacht, daß äußerlich gleichartiges Dentin sehr unterschiedliche Leitfähigkeit aufweist. Diese Unterschiede sind wahrscheinlich durch Anzahl und Durchgängigkeit der Dentinkanälchen bedingt, was sich wiederum stark auf die Geschwindigkeit des Eintrittes einer Dentinunempfindlichkeit auswirkt.

Jugendliche Zähne zeichnen sich durch besonders geringen Widerstand aus, während die Zähne älterer Individuen infolge von Sekundärdentinbildung einen mehr oder weniger hohen elektrischen Widerstand besitzen. Im ersten Fall wird also die Anästhesie bedeutend leichter erreicht werden können als im zweiten.

Zum Zwecke der Messung dieses elektrischen Widerstandes wird der Funktionsschalter auf $k\Omega$, der Gleichstromregler auf den 5. Skalenstrich eingestellt. Der Patient erhält die Zylinderelektrode in die Hand; die Zahnelektrode wird auf ein in die Kavität gebrachtes feuchtes Wattekügelchen gesetzt. Der elektrische Widerstand kann am Zeigerausschlag an der oberen Skala links in $k\Omega$ abgelesen werden. Die Zeigereinstellung erfolgt oft etwas zögernd. Liegen die gefundenen Werte unterhalb von 50 $k\Omega$ (grüne Skala), ist die Anästhesie prinzipiell erfolgsversprechend durchführbar. Andernfalls – bei einem Ausschlag im gelben Bereich, das heißt über 50 $k\Omega$ – verspermt Sekundärdentin dem Anästhetikum den Weg, oder es liegt noch eine Schmelzschicht zwischen Wattebausch und Dentin.

Die bei diesen Messungen gefundenen Werte sind in der Tabelle 11 aufgeführt.

(In den folgenden Tabellen 11 und 12 sind nicht sämtliche Patienten aufgeführt!)

Tabelle 11

Name	Geschlecht	Alter in Jahren	Sensibilität	Zahn	Kavitäten- lokulation	Lösungen	Widerstand des Dentins in Kilo-ohm	Hoch- frequenz (W.-Strom)	Gleichstrom in Volt	Zeit in Minuten	Anästhesie	Bemerkungen
1. Gr.	♀	27	+++	2+ 1+ +1 +2 +3 +4 6 5- 4-	c c c c c c c c c	I II	- - - - - - - - -	7 5 6 6 6 6 6-3 5-3 5-2	15 17 10-20 10-20 10-30 10-30 15-30 15-30 25-30	2 2 2 2 2 2 2 4 2	+++ ++ +++ +++ +++ +++ - - ++	
2. Ang.	♀	29	+++	-1 -2	c c	I	- -	7-5 6-5	8-10 8-12	2 2	- ±	Pat. gravid 7. Monat
3. Ze.	♀	33	++	4+ 3+ +2 -3	c c c c	II	- - - -	6-4 5-3 6-3 5-4	10 10-20 10-30 10-20	2 2 2 2	± ++ +++ ++	Gingiva kauteris.
4. Bo.	♀	45	+	3- 4- 2 3 -4 -5	c c c c c c	II	- - - - - -	8-6 8-5 5-3 5-3 5 8-5	10-25 15-30 10-30 20-30 30 25-30	2 2 2 2 2 2	+++ +++ +++ ++ +++ +++	Kribbeln in Hand- elektrode
5. Ri.	♀	45	++	4 2 3 4	c c c c	I	- - - -	6-3 5-4 6-5 7-6	10-30 15-30 10-25 10-30	2 2 2 2	++ ++ +++ +++	
6. Eg.	♀	44	+++	-4 -4	c MO	II I	- -	2 2	15 5	2 4	±	
7. Ki.	♀	59	++	3 4- 5 6-	c c c c	II	- - - -	6-3 7-3 6-3 7-3	10-20 10-20 15-20 15-25	2 2 2 2	++ +++ +++ +	Kribbeln in Hand- elektrode
8. Da.	♀	31	++	1+ +1 +2 +3	a a a a	II	- - - -	4-3 6-4 6-4 6-5	10-25 15-25 15-25 15-25	2 1 1 3	++ ++ ++ +++	

Tabelle 11 (Fortsetzung)

Name	Geschlecht	Alter in Jahren	Sensibilität	Zahn	Kavitätens- lokalisation	Leitungen	Widerst. und des Dentins in Kilo-ohm	Hoch- frequenz (W. strom)	Gleichstrom in Volt	Zeit in Minuten	Anästhesie	Bemerkungen
9. Na.	♀	35	+++	7	c	II	—	5-4	20-25	2	+++	Ø sonst immer unter Leitungs- anästhesie
				6	c		—	5-4	15-20	2	+++	
				4-	c		—	6-4	20-25	2	+++	
				3	c		50	5	20	2	++	
				-4	c		30	5	20	3	++	
				2+	c		20	5-3	20	2	++	
				3+	c		30	3	20	3	+++	
				4+	c		30	3	20	3	++	
				+2	c		30	5-3	20	3	+++	
				+4	c		30	5-3	20-25	2	++	
10. Zy.	♂	17	+++	4-	c	II	—	5-3	15-20	2	++	
				3-	c		—	5-4	15-25	3	+++	
				3	c		—	5-3	10-20	3	++	
				-4	c		10	6-4	10-25	2	++	
				-5	c		10	6-4	10-25	4	+	
				+4	c		7	5-4	10-25	3	+++	
				+3	c		15	7-3	10-25	3	++	
				4+	c		18	5	15-25	3	++	
11. Fa.	♂	40	++	5-	c	II	10	6-4	10-30	3	+++	
				4-	c		10	4-3	10-20	3	+++	
				-4	c		8	4	20-25	2	+++	
				-5	c		9	6-3	10-20	3	+++	
				7	c		10	3	10	2	++	
				3+	c		7	5-3	5-15	2	++	
				4+	c		20	6-3	10-20	2	++	
				7+	c		10	6-4	10-15	3	++	
12. Ste.	♀	46	+	+7	MO	II	10	8-4	10	4	+++	
				1+	c		15	5-3	10-15	3	++	
13. Stn.	♂	19	+++	5	c	II	12	4	20	2	++	
				4-	c		15	5-4	20-30	3	+++	
				-4	c		5	4-3	15-20	4	+++	
				-5	c		5	5-3	15	3	+++	
				-6	c		8	6-3	10-15	3	±	
				7+	z		10	3	5	5		
14. Bi.	♀	23	++	+2	c		10	5	20	3		
				-3	c	II	15	5-3	15-20	3	+++	
				-4	DO		15	5-4	15-20	3	+++	
				-5	c		15	5-3	15-25	2	+++	
				4-	c		18	5-4	20-25	2	+++	
				5-	c		18	5-4	20-25	2	+++	
				3+	c		18	5	20-25	2	++	
				+2	c		18	5-3	20-25	3	+++	
				+6	MO		18	5-3	15-20	2	-	

Tabelle 11 (Fortsetzung)

Name	Geschlecht	Alter in Jahren	Sensibilität	Zahn	Kavitäten- lokalisation	Lesungen	Widerstand des Dentins in Kilo-Ohm	Hoch- frequenz (W-Ström)	Gleichstrom in Volt	Zeit in Minuten	Anästhesie	Bemerkungen
15. Hü.	♂	28	+++	4 - 5 6	c c c	II	15 15 10	5-3 5-3 5-3	5-10 10-15 10-20	4 4 3	++ ++ ++	
16. An.	♀	32	++	2+ 1+ +1 +2 3 -2 2 1+	c c c c c c c a	II	20 10 15 10 10 25 15 10	6-3 6-3 6-3 5-3 5-3 5-0 5-0 5-0	12-20 15 10 10 10-15 5-20 5-15 10-15	2 3 4 4 3 3 4 3	++ ++ + ++ ++ ++ ++ ++	
17. Ko.	♀	31	++	3+ +2 3- 4- 5- -3	c c c c c c	II	10 15 10 10 10 10	5-3 5-3 5-3 5-3 5-3 5-0	8-15 5-15 10-15 10-15 10-15 5-10	4 4 2 3 3 4	+++ +++ ++ + ++ ++	Pat. gravid
18. He.	♀	49	++	-3 3-	c a	II	18 15	5-0 5-0	10-18 10-15	3 4	- -	Empfindlich- keit erhöht
19. Mü.	♀	50	++	1+ 2+ 3+ 4+ 5+ 1 +2 +4	c c c c c c c c c	I	18 20 15 12 10 25 28 30	5-3 5-3 5-3 5-3 5-3 5-3 5-3 5-0	10 5-10 8-15 6-12 5-12 3-10 4-15 5-15	4 5 5 5 5 5 4 4	++ ++ ++ +++ +++ ± ++ ++	
20. Me.	♂	29	+++	3+ 4+ 5+ -3 +4 4- 5- 7- 3 -4 5 -6	c c c c c c c c c c c c	I II I II	45 20 30 30 25 20 18 18 18 18 15	5-0 5-3 5-3 5-0 5-0 3 3 3 5-0 5-0 3 3	4-12 10-15 10-13 5-20 5-15 10-18 10-8 10 6-15 6-18 15 15	4 4 5 4 4 2 2 2 3 3 3 3	++ + ++ ++ ± ++ ± ± ++ ++ ++ ±	

Tabelle 12

Name	Zahn	Vitalitätsprüfung				Kontrolle nach x Wochen
		vor der Applikation	Datum	nach der Applikation	Datum	
1. Zy.	4	7,5	5. 2. 53	7,6	23. 9. 53	33
	3	7,3		7,2		
	3	7,2		7,4		
	4	7,6	9. 2. 53	7,4		32
	5	7,1		7,3		
	4	7,2		7,0		
	3	7,3	13. 2. 53	7,0		32
	4	7,0		7,1		
2. Ste.	7	6,5	9. 2. 53	5,7	25. 9. 53	32
	1	7,3	16. 2. 53	7,1		31
3. Stu.	5	7,0	10. 2. 53	6,7	7. 10. 53	34
	4	6,7		6,8		
	4	8,4		8,6		
	5	7,8	13. 2. 53	7,5		33
	6	7,8		7,6		
	7	8,0	18. 2. 53	8,5		32
	2	7,3		7,0		
4. Hü.	4	6,5	28. 2. 53	6,3	25. 9. 53	30
	5	6,5		6,7		
	6	6,6		6,4		
5. An.	2	6,8	3. 3. 53	7,0	6. 10. 53	31
	1	6,9		6,7		
	1	5,4		5,6		
	2	3,2		2,0		
	3	7,0		7,4		
	2	7,7		7,9		
	2	7,0		6,8		
	1	6,6		6,7		
6. Ko.	3	6,9	4. 3. 53	6,8	6. 10. 53	31
	2	6,9		7,0		
	3	7,5	6. 3. 53	7,7		31
	4	7,9		8,1		
	5	8,0		7,9		
	3	6,7	11. 3. 53	6,9		30
7. Hem.	3	6,8	10. 3. 53	7,0	6. 10. 53	30
	3	7,1		7,0		
8. Ei.	2	7,5	14. 3. 53	7,6	11. 11. 53	35
	1	7,5		7,3		
	1	7,4		7,5		
	2	7,2	18. 3. 53	7,4		35
	1	7,6		7,4		
9. Stl.	1	8,9	16. 3. 53	9,0	7. 10. 53	30
	1	7,4		7,6		
	3	7,3		7,0		
	5	7,5	17. 3. 53	7,6		30
10. Ei.	3	5,6	28. 3. 53	5,6	15. 10. 53	28

Tabelle 12 (Fortsetzung)

Name	Zahn	Vitalitätsprüfung				Kontrolle nach x Wochen
		vor der Applikation	Datum	nach der Applikation	Datum	
11. Lu.	+1	6,0	16. 3. 53	5,8	14. 10. 53	30
	+2	6,3		6,5		
	+3	7,2		7,5		
	+4	7,0	23. 3. 53	6,5		29
	1+	7,1		7,4		
12. Be.	-4	7,0	24. 3. 53	6,5	9. 11. 53	33
	-5	7,4		7,0		
	7	7,1		6,8		
	4-	6,9	26. 3. 53	6,3		33
	5-	7,4		6,8		
	6-	7,7		7,0		
13. Mü.	1+	6,9	30. 3. 53	7,1	15. 10. 53	29
	2+	7,5		6,8		
	3+	7,0		6,8		
	4+	6,0		6,8		
	5+	7,5		7,0		
	+1	7,4	1. 4. 53	7,4		29
	+2	7,2		7,0		
	+4	6,8		7,8		
14. Me.	3+	5,5	1. 4. 53	6,1	15. 10. 53	29
	4+	6,2		6,1		
	5+	6,4		6,3		
	+3	6,9	17. 4. 53	6,4		27
	-4	6,4		6,6		
	4-	6,5	23. 4. 53	6,8		26
	5-	6,5		6,6		
	7-	6,4		6,3		
	3	6,7	24. 4. 53	7,0		26
	4	6,0		7,3		
	5	7,2		7,5		
	-6	7,4		7,4		
15. Mü.	5-	7,4	24. 4. 53	7,2	7. 10. 53	25
	-3	7,2	28. 4. 53	7,4		24
	5	7,3		7,4		
	-6	7,4		7,5		
	7	7,5		7,6		
16. Mel.	3+	5,5	8. 5. 53	7,5	15. 10. 53	23
	4+	6,2		8,0		
	3-	6,7		8,1		
	-4	6,5		7,5		
17. Mo.	-4	6,4	29. 5. 53	6,5	15. 10. 53	20
18. Pe.	3-	6,4	16. 6. 53	6,8	6. 11. 53	21
	4-	6,6		6,7		
	5-	6,3		6,5		
19. Zä.	4-	6,8	23. 6. 53	7,0	31. 10. 53	19
	5-	6,8		7,1		
	-3	5,7	26. 6. 53	6,3		
	-4	6,1		6,5		
	-5	6,2		6,9		
20. Lu.	2-	6,3	1. 7. 53	6,5	10. 11. 53	19

3. Resultate

a) *Klinische Ergebnisse:*

Es wurden an unserer Klinik mit dem uns von der Firma Ultraschall AG, Zürich, zur Verfügung gestellten Dentatron-Gerät im Laufe von neun Monaten 270 Zähne bei 70 Patienten behandelt. Die Auswahl erfolgte aus dem Patientengut der konservierenden Abteilung. Die Anästhesie wurde an Patienten aller Altersstufen und beiderlei Geschlechts durchgeführt, zur Hauptsache an normal- und überempfindlichen Personen.

Bei 103 Zähnen habe ich jeweils vor und einige Wochen beziehungsweise Monate nach der Applikation Vitalitätsprüfungen mit Hilfe des Induktionsstromes durchgeführt. Diese Werte sind ebenfalls in Tabelle 12 enthalten.

Notiert wurde neben den Personalien in allen Fällen der Applikation:

Der Grad der momentanen Empfindlichkeit, die Zahngattung, die Lokalisation und Art der zu präparierenden Kavität, das verwendete Anästhetikum, die Hochfrequenz in Skalenteilen, die Voltage des Gleichstromes, die Applikationsdauer und die Qualität der erreichten Desensibilisierung.

Erläuterungen zu den vorstehenden Tabellen:

(a) Sensibilität: Wie weiter oben beschrieben, wurden die Patienten in drei Kategorien eingeteilt:

I hyposensible	=	+
II normal empfindliche . . .	=	++
III hypersensible	=	+++

(b) Kavitätenlokalisierung: Für die Anwendung des Gerätes wurden vorwiegend zervikale (— c) Kavitäten berücksichtigt. Daneben wurden jedoch auch proximale Kavitäten an Frontzähnen (— a), zentrale (— z), MO- und DO-Kavitäten an Prämolaren und Molaren behandelt.

(c) Anästhetikum: Ich habe zwei verschiedene Lösungen verwendet, und zwar anfänglich die Lösung I (Novocain+Pantocain in 1,2-Propylenglykol), später Lösung II (PAS-Derivate: Oxyprocain, Salicain und Bronchocain in Thesit liquidum).

(d) Hochfrequenzstrom: Die im Schema angegebenen Zahlen bedeuten den beim Auftreten des ersten, leichten Kribbelns erreichten Skalenteil am Hochfrequenzregler beziehungsweise die Stufe, auf die während der Applikation zurückgeschaltet wurde.

(e) Anodische Übersteuerung des Wechselfeldes durch den Gleichstrom: Der erste notierte Wert entspricht der Voltage, bei der die erste Sensation wahrgenommen wurde, während der zweite die höchste erreichbare Voltzahl bedeutet, sei diese durch Linksdrehung des Gleichstromreglers oder durch spontanes Ansteigen von einem tieferen Wert erreicht worden.

(f) Zeit: Unter der in Minuten eingetragenen Zeit ist die totale Anwendungsdauer (Einschleichen, Steigern, Ausschleichen) zu verstehen.

(g) Vitalitätsprobe: (Tab. 12) Über das Vorgehen gilt das beim Nondolor Gesagte!

(h) *Anästhesie: Analog der Einteilung der Ergebnisse mit dem Nondolor sind auch beim Dentatron die Erfolge beziehungsweise Mißerfolge in 4 Gruppen unterteilt:

- I +++ steht für sehr gute Anästhesie,
- II ++ bedeutet befriedigende, aber nicht vollständige Unempfindlichkeit,
- III ± besagt, daß wohl eine Wirkung zu konstatieren ist, wenn auch in ungenügendem Maß, und
- IV – steht in allen Fällen, wo überhaupt kein positiver Effekt wahrzunehmen war. Der Grund hierfür liegt neben der Undurchlässigkeit des Dentins in anderen, unbekannten Faktoren.

Ich habe meine Untersuchungen durchwegs an kariösen Zähnen mit nicht geschädigter Pulpa durchgeführt und bin zu folgenden Ergebnissen gelangt:

Die Anästhesie mittels des Dentatron-Gerätes war in:

99 Fällen sehr gut	+++	(36,6 %)
91 Fällen gut	++	(33,7 %)
39 Fällen ungenügend . . .	±	(14,5 %)
und 41 Fällen schlecht	–	(15,2 %).

Es stehen also 70,3% Erfolge 29,7% Mißerfolgen gegenüber. Zum Vergleich seien die Ergebnisse, die 1952 an der Münchener Klinik gefunden wurden, zitiert. Danach traten «noch etwa 20% ganze oder teilweise Versager» auf, während Ketterl, Kierse und Tischler⁴⁵ später folgende Resultate mitteilten: 54% sehr gute Erfolge, 22% gute, 12% ungenügende Anästhesien und 12% Versager. Leuenberger⁶¹ fand bei seinen Untersuchungen an leicht kariösen oder kariesfreien Zähnen jugendlicher Patienten zwischen 7 und 16 Jahren 75% gute Ergebnisse (33% sehr gut, 25% gut, 17% ziemlich gut).

Unter Berücksichtigung der momentanen Sensibilität der Patienten lassen sich bei den drei unterschiedenen Gruppen leichte Differenzen in der Erfolgsquote feststellen, und zwar ist diese bei hypersensiblen Personen geringer als bei normal- und hyposensiblen.

Es wurden bei 34 *überempfindlichen* Patienten insgesamt 126 Zähne unter elektro-medikamentöser Anästhesie behandelt. Bei 38 Kavitäten (30%) war der Erfolg sehr gut und in 40 Fällen (32%) gut, während die Anästhesie bei 25 Zähnen (20%) unbefriedigend ausfiel und bei 23 (18%) völlig ausblieb.

Das ergibt eine Erfolgsquote von 62% gegenüber 38% Versagern. Bei 18 Patienten (53%) wurden vorwiegend positive, bei 16 (47%) vorwiegend negative Ergebnisse notiert. Überhaupt keine Erfolge wurden in 11 Fällen (32%), gar keine Versager bei 9 Patienten (26%) festgestellt.

An 31 Patienten *normaler Sensibilität* wurden 124 Kavitäten nach Dentatron-Applikation präpariert. Neben sehr guten Resultaten in 49 Fällen (40%) wurden bei 43 Applikationen (34%) gute Ergebnisse beobachtet. 17 Anästhesien (14%) blieben ungenügend und bei 15 Kavitäten (12%) fehlte jede Schmerzverminderung.

Daraus resultieren 74% Erfolge und 26% Mißerfolge. Bezogen auf die Patientenzahl ergaben sich 20 vorwiegend positive (64%) und 11 in der Mehrzahl negative (36%) Resultate. In 12 Fällen (39%) wurden keine Versager, in 8 Fällen (26%) keine Erfolge beobachtet.

6 Patienten zeigten nur *geringe Empfindlichkeit*. Von den 14 applizierten Anästhesien führten 9 zu sehr guten, 2 zu guten und 3 zu schlechten Resultaten. Die eine Hälfte der Patienten reagierte vorwiegend positiv, die andere zur Hauptsache negativ auf die Denta-

tron-Behandlung. Bei 3 Patienten traten keine Versager, bei zweien keine Erfolge auf. Ich bin mir auch hier vollauf bewußt, daß bei der genannten kleinen Patienten- und Zahnzahl keine statistische Auswertung möglich ist.

Erfolgsquoten bei verschiedenen Sensibilitätsgraden:

Tabelle 13

Sensibilität	Anästhesie	Zähne				Patienten reagieren vorwiegend	
		+++	++	±	-	+	-
+++	Anzahl	38	40	25	23	18	16
	in %	30	32	20	18	53	47
	Total	78		48			
	in %	62		38			
++	Anzahl	49	43	17	15	20	11
	in %	40	34	14	12	64	36
	Total	92		32			
	in %	74		26			
	Anzahl	9	2		3		

Tabelle 14

Anästhesie	Zähne				Patienten reagieren vorwiegend	
Zahl der Fälle	99	91	39	41	41	30
in %	36,6	33,7	14,5	15,2	58	42
Total	190		80			
in %	70,3		29,7			

Geschlechtsbedingte Unterschiede in der Erfolgsquote scheinen nicht zu bestehen.

Hinsichtlich des Effektes der zwei verschiedenen, verwendeten Anästhetika (Lösung I und II) konnten nur unwesentliche Differenzen festgestellt werden.

Die Lösung I zeigte in 68,5%, die Lösung II in 70,8% der Fälle positive Ergebnisse, wobei jedoch zu bemerken ist, daß mit der Lösung I bedeutend weniger Anästhesien durchgeführt wurden.

Für das Zustandekommen einer befriedigenden Dentinanästhesie scheint der Widerstand des Dentins eine gewisse Rolle zu spielen, wenn ihm gemäß meinen Ergebnissen auch nicht die ausschlaggebende Bedeutung zukommt.

Ich habe total 191 Widerstandsmessungen mit Hilfe des Dentatrons vorgenommen. Die dabei ermittelten Werte in $k\Omega$ sind in Tabelle 15 gruppenweise zusammengefaßt:

Tabelle 15

$k\Omega$ Zahnzahl	5-10 56	11-15 38	16-20 66	21-25 8	26-30 20	und mehr als 30 3
-----------------------	------------	-------------	-------------	------------	-------------	----------------------

Um über die Bedeutung des Widerstandes hinsichtlich des Behandlungserfolges Aufschluß zu erhalten, wurden die Ergebnisse in Tabelle 16 in Abhängigkeit dieses Faktors dargestellt:

Tabelle 16

$k\Omega$	+	-		
5-10	26	16	5	9
11-15	14	13	6	5
16-20	15	30	12	9
21-25	2		2	4
26-30	8	8	2	2
über 30	1	2		

und in Tabelle 17 weiter zusammengefaßt:

Tabelle 17

$k\Omega$		
klein 5-15	69 (73,4%)	25 (26,6%)
groß 16-25	47 (63,5%)	27 (36,5%)

Im Gegensatz zur Feststellung *Leuenbergers*⁶¹ scheint doch eine gewisse Abhängigkeit des Erfolges vom Widerstand zu bestehen.

Werden die Resultate gleichzeitig in Abhängigkeit vom Widerstand ($k\Omega$) und von der Dauer der Applikation (t') gebracht, so läßt

sich feststellen, daß die Erfolgsquote mit abnehmendem Widerstand und zunehmender Applikationsdauer ansteigt (Tab. 18).

Tabelle 18

k Ω	t'	+ - Resultate	- - Resultate
5-15	1-2	16 (57%)	12 (43%)
	3-5	52 (78%)	15 (22%)
16-25	1-2	20 (61%)	13 (39%)
	3-5	28 (67%)	14 (33%)

Die 270 Anästhesien verteilen sich auf folgende Zahngruppen:

Oberkiefer:	1	2	3	4	5	6	7	8
	24	18	25	18	5	4	6	-
Unterkiefer:	1	2	3	4	5	6	7	8
	7	12	30	50	36	24	9	2

Es wurden also vorwiegend obere Frontzähne und Prämolaren sowie untere Prämolaren und Sechsjahrmolaren berücksichtigt. Wesentliche Unterschiede in der Erfolgsquote bei den einzelnen Zahngruppen wurden nicht festgestellt. Im Molarenbereich stehen der Verwendung des Dentatrons ähnliche Schwierigkeiten entgegen, wie sie bereits beim Nondolor beschrieben wurden (Schwierigkeit der Trockenhaltung des Arbeitsfeldes, Stromableitung durch Speichel und anliegende Weichteilpartien).

Die ermittelten Resultate wurden auch in Abhängigkeit von der erreichten Gleichstrom-Höchstspannung ausgewertet. Dabei zeigte es sich, daß bei höherer Voltage bedeutend bessere Effekte erzielt werden konnten (Tab. 19). Gänzliche Mißerfolge beruhten in verschiedenen Fällen auf der Unmöglichkeit, den Gleichstrom über 5 V zu steigern. Diese Spannungscheinung zur Erreichung einer genügenden Anästhesie im allgemeinen unzureichend zu sein. *Leuenberger*⁶¹ hält 10 V für die minimale, wirksame Voltage.

Tabelle 19

Gleichspannung in V	-Applikationen	-Applikationen
0-14	48 (49%)	49 (51%)
15-30	141 (82%)	32 (18%)

Der zur Erreichung der Dentinanästhesie benötigte Zeitaufwand betrug im Mittel 2–4 Minuten pro Kavität. Dazu kommt noch etwa 1 Minute für die jeweilige Widerstandsmessung.

Der klinische Befund ließ weder kurz nach der Applikation noch bei Nachkontrollen, die nach 4–9 Monaten vorgenommen wurden, auf irgendwelche Pulpenirritationen schließen. In keinem Falle wurde die Pulpa geschädigt oder ihre Vitalität in Frage gestellt. Bezüglich dieser letzten Feststellung verweise ich auf die in Tabelle 12 mitgeteilten Werte, die bei den 103 durchgeführten Vitalitätsprüfungen vor und einige Wochen nach der Applikation gemessen wurden.

Bei der Anwendung der elektromedikamentösen Dentinanästhesie zur schmerzfreien Präparation von Halskavitäten kam es in der ersten Zeit, das heißt vor der Verwendung von Silicon-Öl als Isolationsmittel, öfters zu Verbrennungen des Gingivalsaumes durch den Hochfrequenzstrom, wenn dieser mit dem in die Kavität gelegten, feuchten Wattebausch in Berührung kam. Diese nekrotisierten Schleimhautpartien wurden allmählich abgestoßen, und es kam zu einer Narbenbildung unter leichter Entblößung des Zahnhalses, die nicht repariert wurde.

Hinsichtlich der Ausdehnung der Anästhesie können theoretisch drei Formen unterschieden werden:

1. eine rein lokale Dentinanästhesie ohne Beteiligung der Pulpa,
2. eine sogenannte Segment-Anästhesie und
3. eine Plexus-Anästhesie.

Bei rein *lokaler* Wirkung dringt das Anästhetikum in der Verlaufsrichtung der Dentinkanälchen gegen die Pulpa vor und erzeugt in dem direkt unter dem Wattebausch liegenden Dentinbereich eine mehr oder weniger ausgeprägte Unempfindlichkeit.

Liegen jedoch Kavitätsanteile außerhalb dieses Bezirks, gelingt die Schmerzausschaltung erst, wenn das Anästhetikum bis zur Pulpenoberfläche vorgedrungen ist und dadurch – vermutlich infolge einer Blockierung des Raschkowschen Plexus – auch sensible Elemente in der Umgebung der Eindringungsstelle anästhetisch werden (*Keller*⁴² und andere).

Wie die Ergebnisse zeigen, war es in einem hohen Prozentsatz möglich, gute bis sehr gute Anästhesien zu erzielen. Diese gehören jedoch in der Mehrzahl der ersten Form (rein lokale Wirkung) an,

indem die Präparation in dem unter dem Wattebausch liegenden Dentinbereich mehr oder weniger schmerzfrei durchgeführt werden konnte, während das Anlegen von Unterschnitten, Haftlöchern und Schwalbenschwanzverankerungen meistens als schmerzhaft bezeichnet wurde. Eine sogenannte Segment-Anästhesie konnte nur in einem Teil der Fälle erreicht werden, obwohl ich die Applikation zeitlich bedeutend stärker ausdehnte als die meisten Autoren (*Ketterl, Kierse und Tischler*⁴⁵, 1 Minute; *Keller*⁴², 2 min).

Auch *Leuenberger*⁶¹ weist auf die Feststellung hin, daß in den meisten Fällen nur eine lokale Wirkung zu konstatieren war, und betrachtet diese Tatsache als erhebliche Einschränkung.

b) *Klinische Nachprüfungen:*

Die behandelten Patienten wurden nach 3 bis 9 Monaten zur Kontrolle bestellt. Auf diese Weise konnten 188 Zähne bei 41 Patienten klinisch nachgeprüft werden. Spätfolgen wurden in keinem Fall beobachtet. Auch auf Grund der 103 durchgeführten Vitalitätsproben (Tab. 12) kann gesagt werden, daß die Vitalität der Pulpa in keinem Fall geschädigt worden ist.

c) *Ergebnisse der histologischen Untersuchung:*

In gleicher Weise wie beim Nondolor-Apparat wurden auch von den 270 Zähnen, bei welchen eine Dentatron-Dentinanästhesie appliziert worden war, nach einer Beobachtungszeit von 9–18 Wochen 13 Zähne der histologischen Nachprüfung unterworfen. Zur Extraktion kamen neben 2 unteren Frontzähnen ausschließlich Sechsjahrmolaren jugendlicher Patienten im Alter von 10–11 Jahren. Die Versuchsbedingungen wurden von Fall zu Fall geändert, um ein möglichst vielseitiges Bild zu erhalten.

Über das Vorgehen gilt das beim Nondolor-Apparat Gesagte (s. S. 51ff.).

(a) *Histologische Technik.* Für die histologische Technik bei den mit dem Dentatron behandelten Zähnen gilt das beim Nondolor Gesagte (s. S. 52).

(b) *Resultate.* Nach der Anwendung des Dentatron-Gerätes waren in 5 Fällen verschiedene Grade von Atrophie der Odontoblasten und des Pulpagewebes festzustellen. Ödeme waren bei 3 Zähnen zu finden, Infiltrationen mit polynukleären Zellen und Rundzelleninfiltration in 5 Fällen. Bei 6 Zähnen wurde die Bildung von Reiz-

dentin beobachtet, 5 boten das Bild einer Hyperämie und 2 das einer venösen Stauung. 3 Pulpen waren ohne jede Veränderung geblieben.

In 8 von 13 Fällen war eine Verfettung der Dentinkanälchen und der Odontoblasten festzustellen. Auch hier kann sie infolge von fortgeschrittener Karies bereits vorher bestanden haben. Da sie aber bei nicht kariösen Zähnen ebenfalls beobachtet wurde, muß eine Stoffwechselstörung durch das Verfahren als möglich betrachtet werden.

Die folgende Zusammenstellung enthält: Alter des Patienten, Zahngattung, Grad der Karies, Versuchsbedingungen, Dauer der Beobachtung, klinischen und histologischen Befund.

1. S.K. 23 Jahre

Zahn 3-. Kariesgrad -. Versuchsdaten: Wechselstrom 3, Gleichstrom 6, Zeit 4 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 10, Anästhesie $\pm$. Beobachtungsdauer: 7 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,5, nach der Applikation 6,7.

Histologischer Befund: Starke vakuoläre Degeneration der Odontoblastenschicht. Pulpagewebe sehr stark atrophisch. Hydropsbildung. Leichte Verfettung der Odontoblastenzellen (Mikrophoto IV).

2. S.K. 23 Jahre

Zahn -2. Kariesgrad . Versuchsdaten: Wechselstrom 3, Gleichstrom 12, Zeit 4 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 10, Anästhesie +++ . Beobachtungsdauer: 12 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,4, nach der Applikation 6,2.

Histologischer Befund: Stärkere Reizdentinbildung verengt das Pulpakavum. Odontoblastenzellen vakuolisiert. Retikuläre Atrophie des Pulpagewebes und fibröse Umwandlung desselben. Stärkere Verfettung der Odontoblastenzone und der Dentinkanälchen im Bereich der Präparationsstelle.

3. W.K. 10 Jahre

Zahn 6. Kariesgrad . Versuchsdaten: Wechselstrom 5, Gleichstrom 15, Zeit 2 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 15, Anästhesie $\pm$. Beobachtungsdauer: 10 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,1, nach der Applikation 5,8.

Histologischer Befund: In der Odontoblastenzone Infiltration polynukleärer Zellen. Gefäße etwas erweitert. Pulpagewebe sonst unverändert. Leichte Verfettung der Odontoblastenschicht.

4. S.B. 10 Jahre

Zahn 6-. Kariesgrad +. Versuchsdaten: Wechselstrom 3, Gleichstrom 5, Zeit 2 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 12, Anästhesie . Beobachtungsdauer: 11 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,7, nach der Applikation 5,6.

Histologischer Befund: Atrophie des Pulpagewebes mit typischer Hydropsbildung. Odontoblasten am Pulpakammerdach vakuolig verändert. Geringe Verfettung der Odontoblasten und der Dentinkanälchen (Mikrophoto V).

5. A.T. 11 Jahre

Zahn -6. Kariesgrad . Versuchsdaten: Wechselstrom 3, Gleichstrom 12, Zeit 3 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 20, Anästhesie +++. Beobachtungsdauer: 12 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,7, nach der Applikation 5,8.

Histologischer Befund: Pulpa unverändert.

6. F.S. 10 Jahre

Zahn 6-. Kariesgrad +. Versuchsdaten: Wechselstrom 5, Gleichstrom 15, Zeit 2 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 12, Anästhesie +++. Beobachtungsdauer: 13 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,8, nach der Applikation: 6,0.

Histologischer Befund: Pulpa unverändert.

7. S.B. 10 Jahre

Zahn -6. Kariesgrad +. Versuchsdaten: Wechselstrom 3, Gleichstrom 5, Zeit 2 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 10, Anästhesie -. Beobachtungsdauer: 14 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,9, nach der Applikation 6,2.

Histologischer Befund: Starke Reizdentinbildung in einem Pulpenhorn. Austritt seriöser Flüssigkeit ins Pulpagewebe. Venöse Stauung. Teilweise Atrophie des Pulpagewebes. Atrophie der Odontoblasten auch im Wurzelbereich.

8. F.S. 10 Jahre

Zahn -6. Kariesgrad +. Versuchsdaten: Wechselstrom 1, Gleichstrom 10, Zeit 3 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 5, Anästhesie +++. Beobachtungsdauer: 18 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,1, nach der Applikation 5,9.

Histologischer Befund: Pulpa unverändert.

9. W.K. 10 Jahre

Zahn 6-. Kariesgrad +. Versuchsdaten: Wechselstrom 1, Gleichstrom 13, Zeit 2 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 12, Anästhesie ±. Beobachtungsdauer: 16 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,9, nach der Applikation 5,5.

Histologischer Befund: Scharf begrenzte Rundzelleninfiltration im Pulpagewebe und im Bereich der Odontoblastenschicht unter der Präparationsstelle. Odontoblasten zeigen vakuoläre Degeneration. Pulpengewebe sonst ohne Veränderungen. Dentinkanälchen und Odontoblasten nicht verfettet.

10. K.F. 11 Jahre

Zahn 6-. Kariesgrad -. Versuchsdaten: Wechselstrom 7, Gleichstrom 5, Zeit 5 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 15, Anästhesie +++. Beobachtungsdauer: 9 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 6,0, nach der Applikation 5,8.

Histologischer Befund: Schnitt durch die Pulpa zeigt eigenartige, die Pulpakammerwände und Wurzelkanalwände umfassende, atypische Hartsubstanzbildung mit Einschluß von einzelnen Zellen. Auch im Pulpagewebe, das fibrös entartet ist, zeigen sich Verkalkungsgebilde dentinoider Art. Gefäße stark erweitert. Unterhalb des Pulpakammerdaches begrenzte, rundzellige Infiltration. Dentinkanälchen und Odontoblasten verfettet (Mikrophoto VI).

11. W.R. 10 Jahre

Zahn -6. Kariesgrad +++. Versuchsdaten: Wechselstrom 1, Gleichstrom 7, Zeit 3 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 15, Anästhesie ±. Beobachtungsdauer: 9 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,5, nach der Applikation 5,4.

Histologischer Befund: Starke Reizdentinbildung am Pulpakammerdach. Begrenztes Rundzelleninfiltrat in einem Pulpenhorn. Odontoblasten unverändert. Gefäße erweitert. Leichte Dentikelbildung im Pulpagewebe. Dieses sonst unverändert. Reizdentinanälchen verfettet.

12. R.M. 10 Jahre

Zahn 6-. Kariesgrad -. Versuchsdaten: Wechselstrom 7, Gleichstrom 5, Zeit 4 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 10, Anästhesie -. Beobachtungsdauer: 11 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 5,7, nach der Applikation 5,6.

Histologischer Befund: Geringe Reizdentinbildung am Kammerdach. Odontoblasten gut erhalten mit Ausnahme einer begrenzten Zone mit starker Gefäßerweiterung und Austritt von Rundzellen. Pulpagewebe sonst unverändert. Venöse Stauung im Entzündungsgebiet. Dentinkanälchen verfettet.

13. W.R. 10 Jahre

Zahn +6. Kariesgrad ++. Versuchsdaten: Wechselstrom 5, Gleichstrom 10, Zeit 1 Minute, Anästhetikum II, Widerstand 5, Anästhesie -. Beobachtungsdauer: 11 Wochen. Klinischer Befund: oB. Vitalitätsprobe: vor der Applikation 4,8, nach der Applikation 5,3.

Histologischer Befund: Starke Reizdentinbildung in einem Pulpenhorn. Starke Erweiterung der Gefäße (Hyperämie). Vereinzelte, leichte Blutungen im Odontoblastengebiet. Leichte fibröse Entartung des Pulpagewebes. Odontoblastenschicht an einzelnen Stellen leicht vakuolig verändert. Reizdentinkanälchen verfettet. Pulpa im übrigen ohne Befund.

4. *Schlußfolgerungen*

Die Methode der elektro-medikamentösen Dentinanästhesie mittels des Dentatron-Gerätes stellt in gewissem Sinn eine Weiterentwicklung und Vervollkommnung der von *Morton* bereits 1895 unternommenen Versuche dar, zum Zweck einer möglichst weitgehenden Unempfindlichkeit beim Bohren ein Anästhetikum mit Hilfe elektrischen Stromes ins Dentin zu befördern.

Der große Nachteil, der die *Mortonsche* Apparatur unbrauchbar machte, ist durch die von *Mach* gefundene Stromform beseitigt und der von ihm konstruierte Oszillator zu einem guten Gerät zur Dentindesensibilisierung ausgebaut worden.

Gestützt auf die gemachten Erfahrungen halte ich das Dentatron für sehr geeignet zur schmerzfreien oder weitgehend schmerzverminderten Präparation von Zahnhalskavitäten an Frontzähnen und Prämolaren, für approximale Kavitäten an Frontzähnen und für zentrale Kavitäten bei Prämolaren und Molaren.

Zur Präparation von approximalen Kavitäten an Prämolaren und Molaren (MO, DO, MOID) scheint mir das Gerät wenig geeignet, da in diesen Fällen eine mehrmalige Applikation unter oft schwierigen Verhältnissen nötig ist, was einen nicht zu unterschätzenden Zeitverlust bedeutet, wenn man bedenkt, daß das Arbeitsfeld jedes Mal sorgfältig trocken gelegt werden muß. Auch Halskavitäten an Molaren sind in sehr vielen Fällen der Durchführung der elektro-medikamentösen Dentinanästhesie unzugänglich. Die größte Schwierigkeit besteht dabei in der Fernhaltung stromableitender Elemente (Speichel, Wangen, Zunge), besonders wenn man berücksichtigt, daß durch den am Zahn gesetzten Reiz (leichtes Prickeln) bei den meisten Patienten der Speichelfluß mächtig angeregt wird.

Für die Arbeit im Molarenbereich wird meines Erachtens die Injektionsanästhesie weiterhin die Methode der Wahl sein.

Als unbedingte Vorteile des Dentatrons sind zu werten: Einmal die handliche, raumsparende Bauart des Gerätes, dann die einfache

Handhabung durch den Zahnarzt selbst sowie das Fehlen jeglicher Wartungsnotwendigkeit. Die Anästhesie ist innert nützlicher Frist erreichbar und zeitigt gute bis sehr gute Resultate in etwa 70%, der Fälle. Der Zahnarzt wird während der Arbeit durch kein zusätzliches Instrument gestört; die Applikation ist in der Regel nicht mit unangenehmen Sensationen verbunden, Psyche, Herz, Leber, Kreislauf und so weiter des Patienten bleiben unbelastet. Das Gerät ist billig im Betrieb, dagegen ist sein Anschaffungspreis noch ziemlich hoch. Nachschmerzen und Folgen fehlen.

Den angeführten Vorzügen stehen folgende Nachteile gegenüber: Der die Zahnelektroden tragende Griffel ist nicht auswechselbar und läßt sich nicht sterilisieren. – Vor der Anwendung muß mindestens an einer Stelle hartes Dentin freigelegt werden. Schmelz und kariöse Massen müssen also ohne Desensibilisierung entfernt werden! – Bei Kontakt zwischen Wattebausch und Zahnfleisch ist Kauterisierung des Gingivalsaumes möglich (heute durch Isolierung mit Silicon-Öl weitgehend behoben). Auch ein gewisser Zeitverlust muß als Nachteil betrachtet werden, da ja während der Applikation nicht gearbeitet werden kann. – Das Gerät ist nur beschränkt verwendbar. – Sehr oft tritt die Anästhesie überhaupt nicht ein (blockiertes Dentin), oder sie ist auf einen eng umschriebenen Bezirk begrenzt (rein lokale Wirkung). – Jeder Zahn muß gesondert anästhesiert werden. – Das Gerät selbst ist keiner Abnutzung unterworfen, die Zahnelektroden jedoch korrodieren ziemlich stark.

VII. Zusammenfassung

1. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die bisher geübten Methoden zur Unempfindlichmachung des Dentins, ihre Vorzüge und ihre Nachteile sowie über ihre praktische Bedeutung.

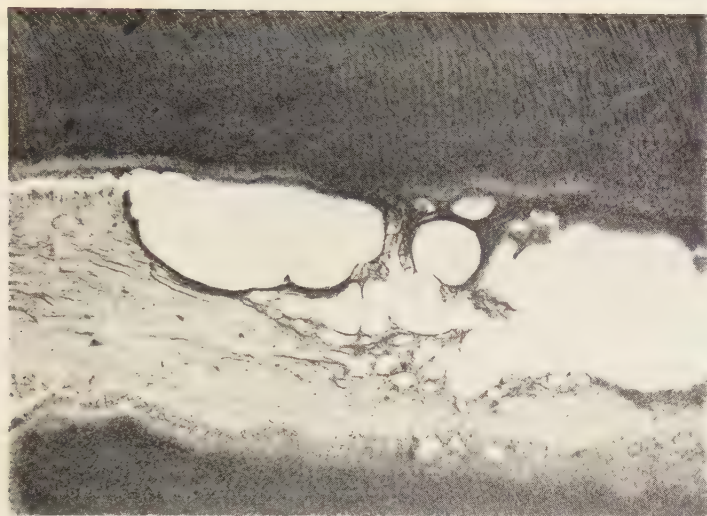
2. Spezielle Berücksichtigung haben zwei neuere Dentinanästhesiegeräte erfahren: der *Nondolor*, der mittels gekühlter Luft eine Desensibilisierung hervorruft, und das *Dentatron*, bei welchem mit Hilfe eines hochfrequenten asymmetrischen Wechselstromes ein Anästhetikum durch die Dentinkanälchen zur Pulpa befördert wird.

3. Die beiden Apparate werden in bezug auf ihre Konstruktion und ihre Arbeitsweise ausführlich beschrieben, und ihre Anwendung und Handhabung wird erklärt.

4. Eine Reihe von Beobachtungen, die bei der Applikation am



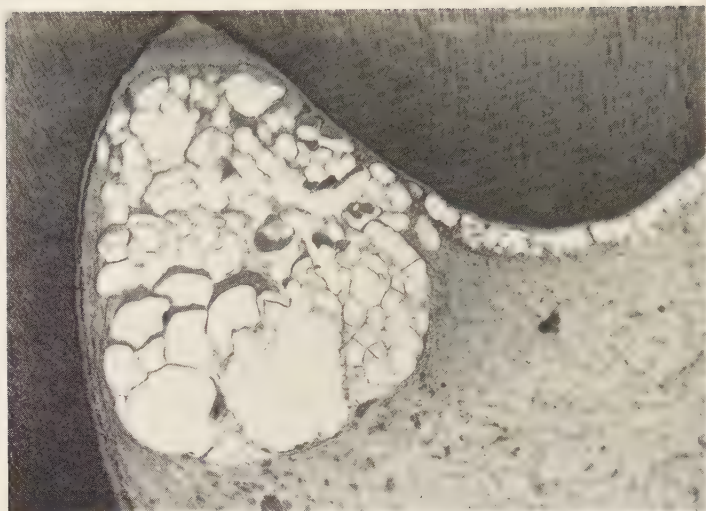
a



b

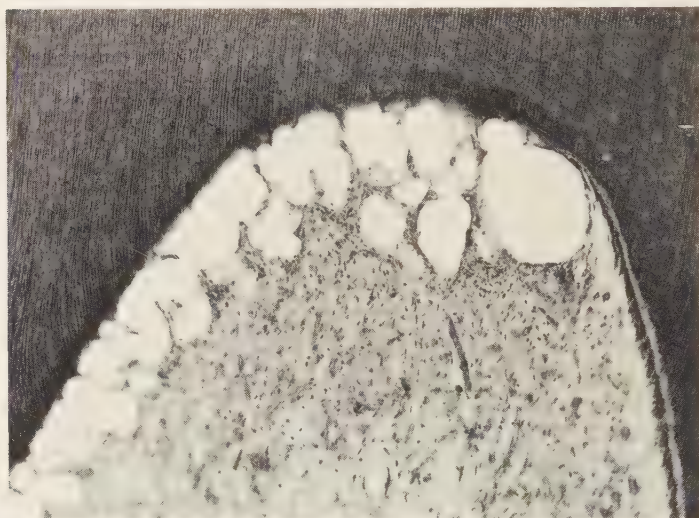
Mikrophoto IVa und IVb

Odontoblastenschicht vakuolär degeneriert; Pulpagewebe stark atrophisch; Hydropsbildung im Pulpenhorn und direkt unter der Applikationsstelle. Versuchsbedingungen: Wechselstrom 3, Gleichstrom 6, 4 Minuten, Anästhetikum II, Widerstand 10. Vergr. 35



Mikrophoto Va

Typische Hydropsbildung im einen Pulpenhorn; Odontoblasten im Bereich des ganzen Pulpakammerdaches vakuolig degeneriert
 Versuchsbedingungen: Wechselstrom 3, Gleichstrom 5, 2 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 12. Vergr. 35



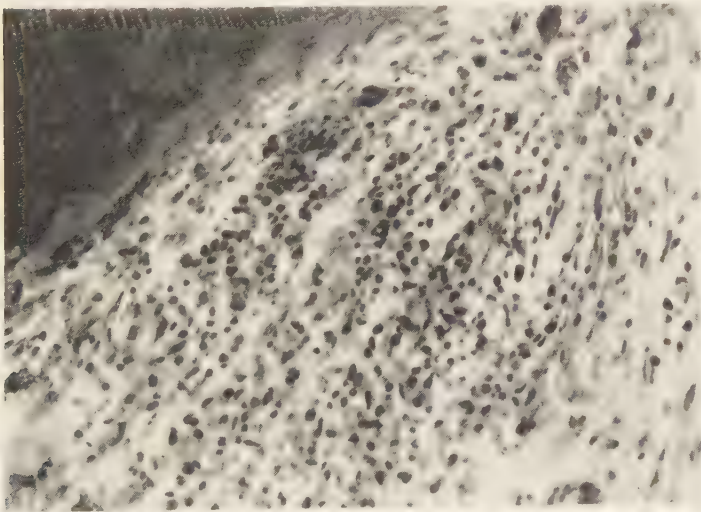
Mikrophoto Vb

Vakuoläre Degeneration der Odontoblasten am Pulpakammerdach; Odontoblasten sonst unverändert, Vergr. 80 ×



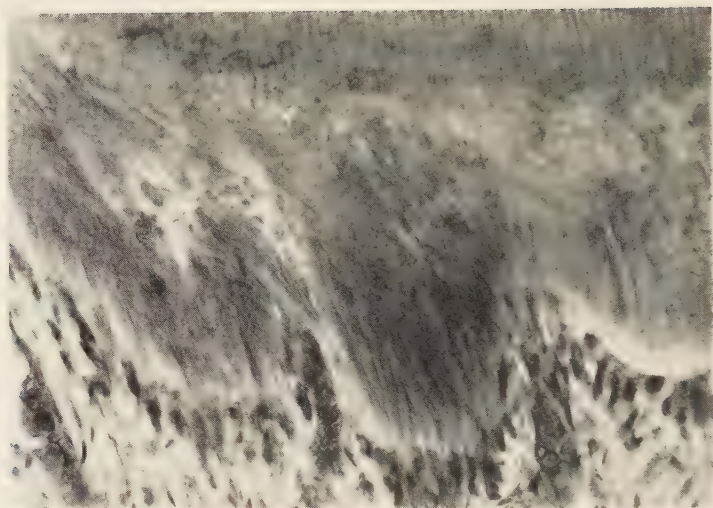
Mikrophoto VIa

Atypische Hartschubstanzbildung mit Einschluß einzelner Zellen an Dach, Boden und Wänden des Pulpakavums; Pulpagewebe stellenweise fibrös entartet; Gefäße erweitert; begrenztes Rundzellinfiltrat am Pulpakammerdach
 Versuchsbedingungen: Wechselstrom 3, Gleichstrom 5, 5 Minuten, Anästhetikum I, Widerstand 12. Vergr. 15 >



Mikrophoto VIb

Rundzellige Infiltration, begrenzt am Pulpakammerdach. Vergr. 200



Mikrophoto VIc

Stärkere Vergrößerung der atypischen Hartschubstanzbildung
Vergr. 200 ×

Patienten gemacht werden konnten, wird mitgeteilt und einer kritischen Betrachtung unterzogen.

5. Die Ergebnisse werden eingeteilt in vier Gruppen: sehr gute, gute, ungenügende und schlechte Anästhesien. Die Quoten beziffern sich für den *Nondolor* auf 41,5% sehr gute, 44,0% gute, 13,0% ungenügende und 1,5% schlechte Resultate. Damit stehen 85,5% Erfolge 14,5% Versagern gegenüber. – Beim *Dentatron* wurden 36,6% sehr gute, 33,7% gute, 14,5% ungenügende und 15,2% schlechte Anästhesien festgestellt, was einem Verhältnis von 70,3% positiven zu 29,7% negativen Ergebnissen entspricht. Die ermittelten Werte werden ferner in bezug auf die Patientenzahl und den Grad der individuellen Empfindlichkeit sowie in Abhängigkeit von verschiedenen gerätbedingten Faktoren ausgewertet.

6. Die Vorzüge der beiden Apparate werden ihren Nachteilen gegenübergestellt, und die Indikation wird folgendermaßen umrissen: für den *Nondolor*: Kavitätenpräparation und Beschleifen von oberen und unteren Frontzähnen und Prämolaren, für das *Dentatron*: Präparation von Halskavitäten an oberen und unteren Frontzähnen und Prämolaren, von approximalen Kavitäten an Frontzähnen und von zentralen Kavitäten an Prämolaren und Molaren. – Beide Geräte erscheinen für eine Anwendung im Molarenbereich wenig geeignet.

7. Reaktionen der Pulpa und Veränderungen der Zahnhartgewebe oder der Gingiva wurden klinisch nicht beobachtet. Die histologischen Resultate zeigten neben Veränderungen des Pulpagewebes und der Odontoblastenzellen in Form von leichteren oder stärkeren Graden von vakuolärer Degeneration bis zur Hydropsbildung auch Erscheinungen im Gefäßapparat in Form von Hyperämie, venöser Stauung und vereinzelter Rundzellenherden in der Odontoblastenschicht oder Rundzelleninfiltrationen im Pulpagewebe. Die Verfettung der Dentinkanälchen und Odontoblasten dürfte zum Teil auf die bereits vorher vorhandene Karies zurückzuführen sein. Inwieweit diese histologischen Veränderungen den Anästhesiemethoden zur Last zu legen und für die Lebenderhaltung der Pulpa von Bedeutung sind, dürften spätere ausgedehnte klinische Nachkontrollen feststellen lassen, obwohl dabei berücksichtigt werden muß, daß die klinische Diagnose und das histologische Bilde der Pulpaveränderung nicht immer übereinstimmen.

VIII. Literaturverzeichnis

1. *Adler, P.*: Theoretische Bemerkungen zur Dentinbetäubung nach Hartman. ZfStom., 34, 706; 1936.
2. *Albrecht, J., Riethe, P., von Wasielewski, E.*: Über die Infektionsmöglichkeit bei der Anwendung des Nondolor-Gerätes. ZW, 8, 333; 1953.
3. *Allen, C. E.*: zit. Ambrose, J. (4.)
4. *Ambrose, J.*: The Innervation of the Dentin. J DentRes., 22, 13; 1943.
5. *Bertzach, K.*: Über Schmerzbekämpfung beim Bohren. ZW, 5, 351; 1950.
- 5a. *Baud, C. A. et Held, A.-J.*: Innervation de l'organe dentaire. Les Paradentopathies. Georg & Cie, Genève, 1953.
6. *Bianchi, M.*: L'anesthésie de la dentine. SMfZ, 49, 263; 1939.
7. *Black, R. B.*: Airbrasive: Some Fundamentals. JAmDentAss., 41, 701; 1950.
8. *Blessing, G.*: Zur Frage des schmerzlosen Exkavierens (Gazotherme). DMfZ, 46, 1249; 1928.
9. *Bodecker, Ch. F.*: Demonstration of Possible ill Effects of Heat on the Pulp during Cavity Preparation. JAmDentAss., 26, 527; 1939.
10. *Branchini, C.*: Experimentelle Forschungen über Zahnanästhesie mit CO₂, und Gedanken über seine Anwendungsmöglichkeiten. RassTrimOdont., 19, 690; 1938.
11. *Brashear, A. D.*: Innervation of the Teeth. JAmDentAss., 23, 662; 1936.
12. *Brussen, R. J.*: Gekoeld Boren en een nieuw desensibiliseeringsmiddel. Tschr Tandhk., 43, 1321; 1936.
13. *Chase, S. W.*: The Nerve Fibers and von Korff's Fibers of the Dental Pulp. J DentRes., 9, 287; 1929.
14. *Delibéros, J.*: Considérations sur le fraisage indolore. Odont., 90, 1; 1952.
15. *Dependorf, Th.*: Beiträge zur Kenntnis der Innervation der menschlichen Zahnpulpa DMfZ, 31, 700; 1913.
16. *Dietrich, A.*: Über die Erfahrungen mit dem Waropa-Apparat bei der Kavitätenpräparation. SMfZ, 50, 860; 1940.
17. *Dobkowsky, Th.*: Eindrücke von einer Studienreise nach den USA. ZW, 3, 337; 1948.
18. *Driak, F.*: Erfahrungen mit dem Gazotherme Degussa. ZfStom, 29, 356; 1931.
19. *Driak, F.*: Über die Bekämpfung des Zahnbeinschmerzes. ZfStom., 33, 545; 1935.
20. *Driak, F., Greiner, G., Krasa, F. C.*: Grundlagen und Technik von Gottliebs Imprägnationsmethode zur Kariesprophylaxe und Desensibilisierung des Dentins. DZZ, 4, 1153; 1949.
21. *Dubois-Prévost, M. R.*: Le fraisage indolore des dents avec l'appareil Waropa. Odont., 84, 108; 1946.
22. *Epstein, S.*: Analysis of Airbrasive Procedures in Dental Practice. JAmDent Ass., 43, 578; 1951.
23. Erfahrungsbericht der Kons. Abt. der Universität München, 1952.
24. *Fabret, F.*: Le gazotherme et l'hypersensibilité dentinaire. Le Monde Dentaire, 30, 67; 1922.
25. *Feil, A.*: Dentinanästhesie mit Baume Flexer, Custodin und Hartmanscher Lösung. SMfZ, 48, 757; 1938.
26. *Fischer, G.*: Gefäßnetz und Hartgewebe in ihrer Beziehung zur Frühbehandlung des vitalen menschlichen Zahnes. DZZ, 7, 70; 1952.
27. Fortbildungstagung in Bonn: Tagungsbericht, 1952. ZR, 61, 290; 1952.
28. *Friedrich, W.*: Studien über die feinere Innervation der Pulpa, des Dentins und der Dentinkanälchen. DZZ, 8, 117; 1953.

29. *Hammelev, J.*: Dentinanalgesi ved Anvendelse af Waropa-Apparatet. Tandlaegebl., 50, 790; 1946.
30. *Hattiyasý, D.*: Biologische Arbeitsweise am lebenden Dentin. ZStom., 37, 1227; 1939.
31. *Heß, W.*: Die Behandlung der lebenden Pulpa. SMfZ, 58, 475; 1948.
32. *Heß, W.*: Zur Prophylaxe der Pulpaerkrankungen. DZZ, 7, 1177; 1952.
33. *Heß, W.*: Vortrag in der ZGZ vom 24. 9. 1953.
34. *Heuser, H.*: Zur Frage der Dentin- und Pulpaanästhesie in der zahnärztlichen Praxis. ZR, 61, 654; 1952.
35. *Holler, W.*: Über biologische Wirkungen der Lokalanästhetika. DZZ, 7, 1320; 1952.
36. *Holler, W.*: Die anästhetische Wirkung der para-Aminosalizylsäure (PAS). ZW, 7; 1952.
37. *Hopewell-Smith, A.*: The so-called "Innervation" of the Dentine: An Epiticism. DentCos., 58, 421; 1916.
38. *Jacobsen, P.*: Dentinanaestesi med «Dentadolor». Tandlaegebl., 44, 27; 1940.
39. *Illyès, L.*: Die Innervation des Dentinbestandes. ZfStom., 46, 101; 1949.
40. Informationsbericht der «Quintessenz»: Auswertung des Auskunftsbogens Nr. 4 über das «Dentatron»-Gerät.
41. *Karlewski, W.*: Eine neue Methode zum schmerzlosen Bohren auf elektro-medikamentöser Grundlage nach Mach mit dem Dentatron-Gerät. BfZhkde., 14, 107; 1953.
42. *Keller, H.*: Das Dentatron, Selbstverlag Dr. Lehfeldt & Co., Heppenheim a. d. B. 1953.
43. *Kérébel, B.*: Recherches sur la structure de la dentine humaine. SMfZ, 59, 633; 1949.
44. *Keßler*: Apparate zur schmerzlosen Behandlung. DZZ, 6, 1345; 1951.
45. *Ketterl, W., Kierse, H., Tischler, R.*: Eine neue Methode der elektro-medikamentösen Schmerzbekämpfung bei der Kavitätenpräparation. ZR, 61, 498; 1952.
46. *Ketterl, W., Kierse, H.*: Elektro-Analgesie. ZMKh. in Vorträgen, Heft 13, 200; 1953.
47. *Ketterl, W., Kierse, H., Tischler, R.*: Erfahrungen mit dem Dentatron. ZR, 62; 1953.
48. *Kiefferle, A.*: Dentianästhesie unter besonderer Berücksichtigung des Gazo-therme-Verfahrens. DMfZ, 48, 764; 1930.
49. *Kieffer, J.*: Bieten uns physikalische, insbesondere thermische Einflüsse die Möglichkeit, die Sensibilität des Dentins auszuschneiden? ZfStom., 22, 733; 1924.
50. *Kieffer, J.*: Über schmerzloses Exkavieren (Gazothermie). DZW, 31, 537; 1928.
51. *Kluczka, J.*: Anästhesie und Nekrotisierung in der Pulpenchirurgie. ZR, 60, 313; 1951.
52. *Kluczka, J.*: Dentinanästhesie. DZZ, 6, 1224; 1951.
53. *Kluczka, J.*: Überblick über die Dentinanästhesie unter besonderer Berücksichtigung der thermisch-physikalischen Methoden. ZR, 61, 113; 1952.
54. *Kluczka, J.*: Histologische Pulpenuntersuchungen bei der Dentinanästhesie mittels gekühlter Luft. DZZ, 8, 255; 1953.
55. *Kocher, P. E.*: Zum Zentenarium der Schmerzbetäubung. SMfZ, 53, 1105; 1943.
56. *Köhler, L.*: Technik und Probleme der Gußfüllung. DZZ, 3, 666; 1948.
57. *Korkhaus, G.*: Zur Frage der schmerzfreien Kavitätenpräparation. ZMKh., in Vorträgen, Heft 13, 96; 1953.

58. *Kronfeld, R.*: Nerves in the Dentine: A Survey of Recent Literature on Dentine Innervation. JAmDentAss., 23, 662; 1936.
59. *Lawton, F. E., Myers, G. E.*: The Control of Frictional Heat in Cavity Preparation. BritDentJ, 83, 75; 1947.
60. *Lehmann, J.*: Dental Practice The Lancet, 1946.
61. *Leuenberger*: Versuche mit dem neuen Dentinanästhesiegerät Dentatron an jugendlichen Zähnen. Inaug.-Diss. Bern, 1953.
62. *Lewinsky, W., Stewart, D.*: Present Knowledge of the Innervation of the Teeth. BritDentJ, 65, 687; 1938.
63. *Lichtwitz, A.*: Die Behandlung der Hyperästhesie des Dentins. ZW, 8, 533; 1953.
64. *Mach, W.*: Grundlagen der elektronischen Dentin-Anästhesie. ZR, 60, 641; 1951.
65. *Manley, E. B., Hardwick, J. C.*: Should Dentine be Desensitized? BritDentJ, 85, 47; 1948.
66. *Montfort, J. C.*: Researches on Dental Innervation. DentCos., 65, 917; 1923.
67. *Morgenstern, M.*: Vorläufige Mitteilung über das Vorkommen von Nerven in den harten Zahnsubstanzen. DMfZ, 10, 436; 1892.
68. *Mummery, J. H.*: The Innervation of Dentine. DentCos., 58, 258; 1916.
69. *Müller, R.*: Oxyprocain, ein neues Lokalanästhetikum mit bakteriostatischer Wirkung. SMfZ, 63, 376; 1953.
70. *Münch, J.*: Untersuchungen über die Innervation der menschlichen Zahnpulpa. VjsfZ, 37, 503; 1927.
71. *zur Nedden, Ad.*: Über einen neuen Apparat zur Anwendung der Kälte bei Zahnoperationen. Der Zahnarzt, 13, 65; 1858.
72. *Norton, H. D.*: The Aident Machine: Some Personal Observations. BritDentJ, 91, 268; 1951.
73. *Oksman, J. M.*: Über die anästhesierende Wirkung des monomeren Methylmethakrylates auf die Zahnhartgewebe. Stomat. (UdSSR), Heft 1, 49; 1950.
74. *Overdiek, H. F.*: Erfahrungen mit dem Nondolar-Gerät. ZMKh. in Vorträgen, Heft 13, 192; 1953.
75. *Pellkofer, J.*: Erzeugung von Dentinanästhesie mittels des Carbothermgerätes. ZR, 61, 287; 1952.
76. *Pellkofer, J.*: Schmerzloses Bohren mit dem Carbothermgerät. ZMKh. in Vorträgen, Heft 13, 197; 1953.
77. *Pohl, G.*: Über die Dentinanästhesie zur Ausschaltung des Bohrschmerzes. ZW, 7, 212; 1952.
78. *Pohl, G.*: Dentinanästhesie mit Hilfe von Kohlensäure. ZW, 7, 278; 1952.
79. *Preiswerk, G.*: Lehrbuch der Konservierenden Zahnheilkunde, Verlag Lehmann, München, 1912.
80. *Putnam, C. S.*: Über einen Apparat zur Erzeugung örtlicher Anästhesie mittels Kälte. Der Zahnarzt, 12, 281; 1857.
81. *Quinton, J. R.*: Über die durch Kälte erzeugte örtliche Anästhesie in der Zahnheilkunde. Der Zahnarzt, 11, 161; 240; 1856.
82. *Rebel, H. H.*: Aus dem Schrifttum der Jahre 1939, 1940 und 1941 zur Zahnerhaltungskunde. Zentralblatt für die ZMKh., 7, 83; 1942.
83. *Rebel, H. H.*: Lehrbuch der Konservierenden Zahnheilkunde, Verlag Hanser, München, 1947.
84. *Rein, H.*: Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 1948.

85. *Restarski, J. S.*: Dental Anesthesia Induced by Local Refrigeration. JAmDentAss., 31, 599; 1944.
86. *Restarski, J. S.*: Anesthesia Induced by Local Refrigeration of the Jaws. JAmDentAss., 25, 433; 1946.
87. *Riedener, F.*: Die wärmeableitende Spülbohrung. ZMKh. in Vorträgen, Heft 13, 189; 1953.
88. *Riethe, L.*: Kälte als Mittel zur schmerzlosen Zahnbehandlung, Erfahrungen mit dem Nondolor-Apparat. Inaug.-Diss. Mainz 1951.
89. *Riethe, P.*: Klinische Erfahrungen mit dem Nondolor-Apparat. ZR, 61, 133; 1952.
90. *Riethe, P.*: Dentinanästhesie durch Kälteanästhesiesysteme, unter besonderer Berücksichtigung des Nondolor-Apparates. Sonderdruck aus ZP, 3, Heft 14; 1952.
91. *Roach, H. J.*: Airbrasive Technic Discussed. JAmDentAss., 43, 108; 1951.
92. *Robinson, J.*: Die Anästhesie in der Zahnheilkunde, ... Der Zahnarzt, 12, 321; 1857.
93. *Roos, W.*: Das Problem des schmerzlosen Bohrens an Zähnen unter besonderer Berücksichtigung des Waropa-Apparates. ZfStom, 37, 1339; 1939.
94. *Schiller, F.*: Das Hartmansche Dentinanästhetikum. ZfStom, 34, 704; 1936.
95. *Schliephake*; zit. bei *Ketterl, Kierse, Tischler* (45).
96. *Schmid, P.*: Über die Einwirkung der Kälte auf die lebende Pulpa, speziell bei Anwendung tiefer Temperaturen zur Bekämpfung des hypersensiblen Dentins (Gazotherme Fabret). SMfZ, 34, 55; 1924.
97. *Schoolwerth, A.*: Eenige mededeelingen betreffende het gebruik en de grondslagen van «Airbrasive». Tschrtandhk, 57, 746; 1950.
98. *Soresi, A.*: Il metodo Waropa per la trepanazione indolore dei denti. RivIt-Stom, 4, 250; 1949.
99. *Spinner, J. R.*: Die Dosierung der Medikamente in der konservierenden Zahnheilkunde. ZW, 4, 92; 1949.
100. *Stewart, D.*: The Progress of Our Knowledge of the Innervation of the Dentine. BritDentJ, 60, 613; 1939.
101. *Suzuki, K.*: Une nouvelle méthode d'insensibilisation dentinaire par l'anesthésie électrique. ActOdStom, 6, 179; 1952.
102. *Thomas, B. O. A.*: Effectiveness of Chilled Burs in Eliminating Pain. J DentRes, 20, 361; 1941.
103. *Therkelsen, Chr.*: Erfahrungen mit dem Atomiseur-Carboflux. ZR, 38, 654; 1929.
104. *Tojoda, M.*: Nerves in the Dentine. BritDentJ, 48, 1325; 1927.
105. — Die Innervation des menschlichen Zahnbeins. DZW, 37, 641; 670; 1934.
106. *Tracksdorf, H.*: Über Erfahrungen mit dem Dörrcotherm-Gerät. DZZ, 8, 732; 1953.
107. *Tschopp, H. R.*: Die Dentinanästhesie unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung des abgekühlten Bohrers. Inaug.-Diss., Basel, 1940.
108. *Turnovszky, F.*: Der Waropa-Apparat, ein Behelf zur Dentinanästhesie. ZfStom, 46, 80; 1951.
109. *Vaughn, R. C.*: Peyton, F. A., The Influence of Rotational Speed on Temperature-Rise during Cavity Preparation. J DentRes, 30, 737; 1951.
110. *de Vere Green, C.*: Airbrasive Technic. BritDentJ, 91, 273; 1951.
111. *Vieilleville, R.*: Mon expérience sur l'Aident. SMfZ, 62, 186; 1952.
112. *Waechter, R.*: Untersuchungen über Diaket und Dialyt. ZW, 8, 281; 1953.

113. *Waldsax, R.*: Die Verwendung des Sandstrahlgebläses. ZMKh in Vorträgen, H. 13, 89; 1953.
114. *Wassermann, F.*: The Innervation of Teeth. JAmDentAss, 26, 1097; 1939.
115. *Welisch, J.*: Kälte als Mittel zur schmerzlosen Zahnbehandlung (Gazothermie Fabret). ZfStom., 24, 468; 1926.
116. *Willis, H., Werner, H.*: Chaleur développée dans la préparation des cavités. AustrJ Dentistry, 2; 1940.
117. *Yamada, M., Maruhashi, J., Sugaya, K., Hara, G., Masuda, M.*: Physiologic Studies on the Innervation of Tooth. JDentRes., 32, 110; 1953.
118. *Zerosi, C.*: Il Problema dell'innervazione della dentina. RivItStom., 2, 36; 1947.
119. *Schlaginhaufen, E.*: Erfahrungen mit dem Nondolor. Bericht aus der Praxis. Persönliche Mitteilungen sowie SMfZ 64, 77; 1954.

Zum Schluß möchte ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. med. *W. Heß*, für die Überlassung des Themas sowie für seine freundliche Hilfe und seine wertvollen Anregungen bestens danken. Mein Dank gilt auch Herrn Dr. *Reiser*, Leiter der städtischen Schulzahnklinik Zürich, und Fräulein Dr. *Reiff*, Leiterin der Schulzahnklinik Wiedikon, für die Überweisung der für die histologischen Untersuchungen benötigten Fälle.

Ebenfalls danken möchte ich Herrn Prof. Dr. med. *von Albertini*, Leiter des Histopathologischen Institutes der Universität Zürich, für sein Entgegenkommen bei der Herstellung der histologischen Präparate, sowie Herrn *Wuerth* für die Anfertigung der Mikrophotographien.

Curriculum vitae

Ich wurde am 9. August 1928 in Ennenda GL geboren. Nach Absolvierung der Primarschule in Ennenda und von 4 Jahren Sekundarschule an der Höheren Stadtschule Glarus besuchte ich während 2½ Jahren die Thurgauische Kantonsschule in Frauenfeld, wo ich 1947 die eidg. Maturitätsprüfung bestand. Anschließend studierte ich an der Universität Zürich 10 Semester Zahnheilkunde (1948 1. propädeut. Examen nach dem 2. Semester, 1950 2. propädeut. Examen nach dem 5. Semester) und legte hier im Herbst 1952 das zahnärztliche Staatsexamen ab. Seither bin ich als Assistent an der Konservierenden Abteilung des Zahnärztlichen Institutes der Universität Zürich tätig.

